

98/1686



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑧7 EP 0 220 320 B1

⑩ DE 36 50 562 T 2

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 03 H 9/17  
H 03 H 9/13  
H 03 B 5/32

②1	Deutsches Aktenzeichen:	36 50 562.5
⑧6	PCT-Aktenzeichen:	PCT/JP86/00181
⑧6	Europäisches Aktenzeichen:	86 902 487.7
⑧7	PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 86/06228
⑧6	PCT-Anmeldetag:	11. 4. 86
⑧7	Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	23. 10. 86
⑧7	Erstveröffentlichung durch das EPA:	6. 5. 87
⑧7	Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	28. 8. 96
④7	Veröffentlichungstag im Patentblatt:	20. 3. 97

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
 11.04.85 JP 77065/85      31.05.85 JP 119055/85  
 20.01.86 JP 9756/86      21.01.86 JP 10824/86  
 21.01.86 JP 10825/86      21.01.86 JP 10826/86

⑦3 Patentinhaber:  
Toyo Communication Equipment Co., Ltd.,  
Kanagawa, JP

⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,  
50667 Köln

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:  
CH, DE, FR, GB, IT, LI

⑦2 Erfinder:  
HIRAMA, Kouichi Toyo Communication Equipmen,  
Kouza-gun Kanagawa 253-01, JP; SHOUZI,  
Tomokazu Toyo Communication Equipment,  
Kouza-gun Kanagawa 253-01, JP; TANAKA, Yoshiaki  
Toyo Communication Equipment, Kouza-gun  
Kanagawa 253-01, JP

⑤4 PIEZOELEKTRISCHER RESONATOR ZUR ERZEUGUNG VON OBERSCHWINGUNGEN

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 3650562 T 2

Mit der Herstellung von Kristall-Resonatoren befaßte Personen haben ein Phänomen festgestellt, nach dem ein Kristall-Resonator in Oberschwingungen dritter oder fünfter Ordnung schwingt, wenn, infolge der Miniaturisierung des für einen kleinformatigen Resonator erforderlichen Kristallsubstrats, das Verhältnis zwischen der Länge und der Breite eines Kristallsubstrats und das Verhältnis zwischen der Seitenlänge und der Dicke des Substrats in einem bestimmten Bereich liegen. Die Unterdrückung dieses Phänomens ist Gegenstand von Untersuchungen.

US-A-4 114 062 offenbart eine Technologie zur Verwendung dieses Phänomens, um Kristall-Resonatoren für Oberschwingungssoszillation herzustellen, die zur Verwendung mit aperiodischen Oszillationsschaltungen geeignet sind, welche die Grundschiwingung und die dritte Harmonische mittels der in den Fign. 3a und 3c dargestellten Struktur unterdrückt, auf der der Energieeinfangbereich, der Energieausbreitungsbereich und der Energieabsorptionsbereich nach Patentanspruch 1 ausgebildet werden können. Der bekannte Resonator ist nicht praktisch verwendbar, da er die folgenden Probleme aufweist: Bei einem scheibenförmigen Substrat, welches die typischste Form eines Resonatorsubstrats ist, ist der Durchmesser des Substrats extrem gering, nämlich lediglich das 20-30-fache der Substratdicke, und der Durchmesser der Elektroden beträgt ungefähr 50-85% des Substratdurchmessers. Da die Verformung des Trägers um den Umfangsrand des Substrats herum Auswirkungen auf den Oszillationsbereich hat, ergeben sich Probleme dahingehend, daß die Frequenz-Temperatur-Charakteristik instabil wird, die Resonanzfrequenz vor und nach dem Thermozyklus variiert und sich die Resonanzfrequenz mit zunehmender Alterung erheblich verändert.

Zur Lösung dieses Problems schlägt US-A-4 188 557 vor, ein piezoelektrisches Substrat für einen kleinformatigen piezoelektrischen Resonator für Oberschwingungssoszillation konvex auszubilden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst, wobei das Substrat und ein Vibrationsmediumblock miteinander verbondet werden, wodurch ein Beitrag zur Überwindung der Probleme des Oberschwingungsresonators nach US-A-4 114 062 geleistet wird, ohne die in der traditionellen Resonator-Herstellung verwendeten Herstellungsschritte zur Herstellung des Substrats wesentlich zu verändern.

Um die Charakteristik in einem Vibrationsenergieeinfangmodus einer Vibration eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus höherer Ordnung, die zum Zeitpunkt der Erregung eines piezoelektrischen Resonators erzeugt wird, gemäß dem die Erfindung verkörpernden Oberschwingungsresonator zu verwenden, ist ein Bereich mit einer Grenzfrequenz  $f_2$  um einen Energieeinfangbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_1$  ( $f_1 < f_2$ ) auf einem piezoelektrischen Substrat ausgebildet, um eine starke Vibration eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus höherer Ordnung zu erregen, wodurch die Vibrationsenergie einer Größenordnung über der n-ten Oberschwingung unter den Vibrationen aufweisenden Oberschwingung einer Vibration eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus nahe dem Energieeinfangbereich im wesentlichen einzufangen, und die Größe des Energieeinfangbereichs (Elektrode), den Betrag der Anodenrückkopplung  $(f_2 - f_1)/f_2$  und die Substratdicke sind derart gewählt, daß die Vibrationsenergie einer Oberschwingung einer geringeren Ordnung als n-2, einschließlich der Grundfrequenz, über die gesamte Fläche des Substrats verteilt wird.

Ferner ist ein Vibrationsenergieabsorptionsbereich mit einer Grenzfrequenz von weniger als  $f_2$  an einem geeigneten Bereich nahe dem Außenumfang des piezoelektrischen Substrats vorgesehen, um die sich über die gesamte Fläche des Substrats ausbreitende Vibrationsenergie einer Oberschwingungsenergie mit einer Ordnung von weniger als der (n-2)ten Oberschwingungsvibration, einschließlich der Grundwellenvibration, effizient abzuleiten.

Um einen solchen Resonator zu schaffen, ist bei dem erfindungsgemäßen Resonator die Grenzfrequenz des absorbierenden Energieabsorptionsbereichs nahe dem Umfang des piezoelektrischen Substrats niedriger, vorzugsweise erheblich niedriger, als diejenige des Vibrationsenergieeinfangbereichs mit den daran angebrachten Erregungselektroden.

Ferner schafft die Erfindung einen Oberschwingungsresonator, der in der Lage ist, die Verschlechterung der Resonatorcharakteristik, die durch eine Verschiebung der Position einer zur Feinjustierung der Oszillationsfrequenz erforderlichen zusätzlichen aufgedampften Schicht verursacht wird, zu kompensieren, wodurch eine erhebliche Verringerung des durch Unterschiede in der Resonatordicke des piezoelektrischen Substrats bewirkten Einflusses auf die Resonatorcharakteristik und eine erhebliche Steigerung der Obergrenze der Resonanzfrequenz erreicht wird.

Aus diesem Grund ist bei dem erfindungsgemäßen Resonator der Elektrodenbereich auf der Rückseite größer als der der Elektrode entsprechende Bereich auf der Vorderseite.

Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1a - eine schematische Schnittdarstellung eines piezoelektrischen Substrats zur Erläuterung der Energieeinfangtheorie von Schockley;

Fig. 1b - Vibrationsspektren in den symmetrischen und den asymmetrischen Modi;

Fig. 2a - ein Modell eines Substrats zum Beweis der Tatsache, daß die Vibrationsspektren selbst für ein Substrat begrenzter Fläche zutreffen;

Fig. 8c - eine Kurve zur Darstellung des grundsätzlichen Verfahrens der Auswahl verschiedener Parameter des Resonators;

Fig. 9 - eine Kurve zur Erläuterung eines anderen Verfahrens zur Einstellung von Parametern, die zur Bildung eines Oberschwingungsresonators erforderlich sind;

Fig. 10a - eine Ladungsverteilung, die von einem Resonator erzeugt wird, der eine Oszillation der geringsten Ordnung mit einem asymmetrischen Modus verwendet;

Fig. 10b - eine Reihenschaltung der Elektroden;

Fig. 10c - eine Parallelschaltung der Elektroden;

Fig. 11a und 11b - Beispiele für die Reihen- und die Parallelschaltung der Elektroden eines Resonators, der eine  $S_1$ -Modus-Oszillation verwendet;

Fig. 12a und 12b - perspektivische Darstellungen der Reihen- und der Parallelschaltung der in zwei Abschnitte geteilten Elektrode;

Fig. 12c und 12d - perspektivische Darstellungen der Reihen- und der Parallelschaltung der in drei Abschnitte geteilten Elektrode;

Fig. 13a bis 13c - Schnittdarstellungen verschiedener Strukturen des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs;

Fig. 14a und 14b - Draufsichten des Aufbaus der für die Bestätigungsversuche verwendeten Resonatoren, wobei Fig. 14a einen nicht mit einem Vibrationsenergieabsorptionsbereich versehenen Resonator und Fig. 14b einen mit einem Vibrationsenergieabsorptionsbereich versehenen Resonator darstellt;

Fig. 25 - eine Draufsicht auf einen Resonator, der für den Versuch zur Untersuchung des Filmdickenverhältnisses des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs verwendet wurde;

Fig. 26 - eine Kurve zur Darstellung des Versuchsergebnisses zur Untersuchung eines CI-Werts bezüglich einer Oberschwingung einer Ordnung, bei der die Schwingung für ein Filmdickenverhältnis des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs erwünscht ist, und eines CI-Werts der zu unterdrückenden Oberschwingungsvibration einer geringeren Ordnung;

Fig. 27a bis 27c - Schnittdarstellungen verschiedener Ausbildungen des Energieabsorptionsbereichs;

Fig. 28a und 28b - verschiedene Elektrodenausbildungen;

Fig. 29a und 29b - Schnittdarstellungen zur Erläuterung der Tatsache, daß die Charakteristik nicht variiert, selbst wenn die Frequenz angepaßt wird, wobei die Größe des piezoelektrischen Substrats des Resonators variiert;

Fig. 30a und 30b - eine Vorder- und eine Hinteransicht eines piezoelektrischen Oberschwingungsresonators;

Fig. 31a und 31b - Draufsichten verschiedener Elektrodenausbildungen, die bei dem Resonator der Fig. 30a und 30b verwendet werden; und

Fig. 32a bis 32c - Schnittdarstellungen eines Zwei-Port-Resonators oder eines Dualmodusfilters, eines Oberschwingungsschalters, der eine asymmetrische ( $a_0$ ) Oszillation der geringsten Ordnung verwendet, und eines Oberschwingungsschalters, der eine symmetrische ( $S_1$ ) Oszillation der höchsten Ordnung verwendet.

daß sich die Oszillationsenergie über die gesamte Fläche des Substrats ausbreitet und kein Einfangen stattfindet.

Andererseits bedeutet der Fall, in dem  $\Psi = 0$ , im Gegensatz zu der obigen Beschreibung, daß sämtliche Vibrationsenergie in einem Bereich eingefangen wird, der eine Grenzfrequenz  $f_1$  hat. Ein Parameter  $na\sqrt{\Delta}/H$  entlang der Abszisse bezeichnet einen Einfangkoeffizienten, der durch die Ordnung der Oberschwingung  $n$ , die Größe  $a$  und die Dicke  $H$  eines Bereichs mit der Grenzfrequenz  $f_1$  und den Betrag der Frequenzverringering  $\Delta$  bestimmt ist.

Wie in Fig. 1b dargestellt, ist festzustellen, daß, wenn der Einfangkoeffizient  $na\sqrt{\Delta}/H$  geringer ist als ein gegebener Wert, liegt in der Vibration symmetrischer Modi ( $S_1, S_2, \dots$ ) höherer Ordnungen und den Vibrationen der asymmetrischen Modi ( $a_1, a_2, \dots$ ) kein Einfangmodus vor. Diese Charakteristik liegt in dem symmetrischen Modus ( $S_0$ ) der niedrigsten Ordnung nicht vor.

(3) Bei dem zuvor beschriebenen Einfangkoeffizienten, bei dem  $a, \sqrt{\Delta}$  und  $H$  geeignete feste Werte sind, wird der Grad des Energieeinfangens mit zunehmender Oberschwingungsordnungszahl  $n$  groß. Mit zunehmend größer werdendem Einfangkoeffizienten erreicht der Grad des Energieeinfangens einen großen Wert, der durch die Ordnung der Oberschwingung nicht wesentlich beeinflußt werden soll.

(4) Wenn die Ordnung  $n$  der Oberschwingung und die piezoelektrische Substratfrequenz (durch  $H$ ) gegeben sind, entspricht der Parameter, der den Einfangkoeffizient verändert, der Größe eines Bereichs (im allgemeinen der Elektrodenkontakte) mit einer Grenzfrequenz  $f_1$ , wobei der Betrag der Frequenzverringering  $\Delta$  durch das Hinzufügen einer bestimmten Masse bewirkt wird.

gie, da sich die Vibrationsenergie über die gesamte Fläche des Substrats ausbreitet, aus einem Haltebereich zu den Substraträndern oder wird in dem Haltebereich abgeleitet. Dementsprechend wird der äquivalente Widerstand für die Vibration extrem groß.

Auf der Grundlage der zuvor genannten Tatsachen sei nunmehr untersucht, in welchem Maße die Charakteristik der Vibration des symmetrischen oder asymmetrischen Modus höherer Ordnung bei dem unter (1) und (2) beschriebenen Substrat unendlicher Fläche bei der begrenzten Fläche gewahrt werden kann.

Fig. 2a ist eine schematische Schnittdarstellung eines Energieeinfangresonators mit einer unendlichen Länge in der Richtung x, einer begrenzten Breite 2b in der Richtung z und Elektroden, die an der seitlichen Mitte des Substrats angebracht sind und die Breite 2a haben.

Unter den Wellenbewegungen ist es lediglich vonnöten, eine SH-Welle zu beachten, die eine Verschiebung parallel zur x-Achse aufweist, und die Verschiebung U kann entsprechend dem Aufsatz von Onoue und Jumonji mit dem Titel "Analysis of an energy entrapping type piezoelectric resonator" (1965, September, Journal of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan, Vol. 48, No. 9) durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$U = H \cos (n\pi y/H) \exp (j \omega t) \quad \dots\dots(1)$$

wobei  $U = f(z)$ , das wie folgt neu geschrieben werden kann, indem k und k' verwendet werden, die derart definiert werden, daß die Ausbreitungskonstante B in den jeweiligen Bereichen (I), (II) und (III) des in Fig. 2a dargestellten Substrats stets eine natürliche Zahl ist

Der obere Bereich der Doppelnotation der Gleichungen (2), (3) und (4) ergibt eine symmetrische Vibration, bei der die Verschiebung  $U$  eine gerade Funktion in bezug auf das Original wird, während der untere Bereich eine asymmetrische Oszillation ergibt, die zu einer ungeraden Funktion wird.

In den zuvor beschriebenen Gleichungen (1) bis (6) kann die folgende Frequenzgleichung aus der Grenzbedingung abgeleitet werden, daß die Verschiebung und die Belastung kontinuierlich sind, wenn  $z = \pm a$ , und daß die Endfläche frei ist, wenn  $z = \pm b$ .

$$\tan h k' (b-a) = k/k_{\cos}^{\tan} ka \quad (7)$$

Es sei eine Gleichung zur Annäherung an die Gleichung (7) bestimmt, wobei  $f_1$  geringfügig niedriger ist als  $f_2$ .

Die beobachtbare Frequenz, das heißt die Resonanzfrequenz, sei mit  $f$  bezeichnet, wobei die Substratdicke im Bereich (II) von Fig. 2a verändert ist oder wobei Elektroden angebracht sind.

Sodann werden zwei Normalisierungsfrequenzen  $\delta$  und  $\Delta$  eingeführt, die den folgenden Gleichungen entsprechen.

$$f = (1 + \delta) f_1 \quad (8)$$

$$f_1 = (1 + \Delta) f_2 \quad (9)$$

Aus den Gleichungen (5) und (8), ergibt sich

Diese Gleichung zeigt die Beziehung zwischen der normalisierten Resonanzfrequenz  $\Psi$ , die  $b/a$  als einen Parameter verwendet, und der Resonatorabmessung  $\sqrt{A}/H$  und entspricht einer generellen Gleichung, die zu einem Vibrationsenergieeinfangzustand auf einem Substrat mit begrenzter Fläche führt.

Die Frequenzspektren von symmetrischen oder asymmetrischen Vibrationen höherer Ordnung, bei denen  $b/a = 4$  ist, werden unter Verwendung der Gleichung (17) berechnet, und die berechneten Spektren werden mit denjenigen eines Substrats mit unendlicher Fläche verglichen, wobei das Ergebnis des Vergleichs in Fig. 2b dargestellt ist.

Wie aus Fig. 2b klar ersichtlich, variiert der Grad des Einfangs der Energie einer symmetrischen Vibration der niedrigsten Ordnung erheblich in Abhängigkeit von den Abmessungen des Substrats, während der Grad des Einfangs symmetrischer und asymmetrischer Vibrationen höherer Ordnung als bei dem Substrat mit unendlicher Fläche und dem Substrat begrenzter Fläche im wesentlichen gleich gelten kann.

Genauer gesagt können die zuvor genannten Bedingungen (2) und (3) auf das Substrat mit begrenzter Fläche unverändert angewendet werden. Vergleicht man sie mit der Charakteristik des symmetrischen Modus geringster Ordnung ( $S_0$ ), sind die Steigungen der anderen Modi steil und diese Tendenz wird mit zunehmender Ordnung des Modus bemerkbarer. Auch diese Charakteristik ist bei dem Substrat mit begrenzter Fläche beibehalten.

Die genannten Fakten (1) bis (5) bilden eine der Voraussetzungen der Erfindung, die in dem angefügten Patentanspruch 1 definiert ist.

Die Fig. 3a bis 3c sind Schnittdarstellungen des grundsätzlichen Aufbaus von Resonatoren und Kurven zur Erläuterung.

det wird, ist es vorteilhaft, die Elektrodengröße auf der Annahme zu verändern, die der Betrag der Frequenzannahme bereits nahegelegt hat, da eine extrem geringe Menge der angebrachten Elektrode zu einer extrem großen Frequenzverringering führt.

Die Grenzfrequenz  $f_3$  der Vibrationsenergieabsorptionsbereiche 4 und 4' kann die selbe sein wie  $f_1$ , jedoch kann die Frequenz  $f_3$  falls gewünscht erhöht oder gesenkt werden, wodurch der Verbrauch der Vibrationsenergie in den Bereichen 4 und 4' so weit wie möglich erhöht wird.

Bei dem gemäß der obigen Beschreibung hergestellten Resonator werden die Vibrationsenergien der Oberschwingungen der fünften, sechsten .... Ordnung in den Elektrodenebereichen gemäß Fig. 3c eingefangen, wobei die Vibrationsenergien der Oberschwingungen der Grundwelle (erste Ordnung) und der dritten Ordnung nicht in einer nennenswerten Menge eingefangen werden, und dieses Energien lecken zum Außenumfang des piezoelektrischen Substrats hin, wodurch sie ein Vibrieren des piezoelektrischen Substrats 1 in den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen 4 und 4' bewirken. Auf diese Weise wird die Energie in diesen Bereichen in Wärme umgewandelt und abgeleitet, wobei die Impedanz der Oberschwingungen unterer Ordnung, einschließlich der Grundvibration, von der Oszillationsschaltung her gesehen, größer wird als diejenige der Oberschwingung höherer Ordnung, bei der die Energie eingefangen wird. Dieses Phänomen ist leicht zu verstehen, wenn man sich die Energieverteilung der freien Elektrodenbefestigungsbereiche des sogenannten multimodalen piezoelektrischen Monolith-Filters vorstellt, in dem mehrere eng benachbarte freie Elektroden zwischen Elektroden angeordnet sind.

Die Oberschwingungen fünfter, siebter ... Ordnung, deren Vibrationsenergien wie zuvor beschrieben in den Elektrodenbereichen eingefangen werden, bewirken, da die Vibrationsimpedanz der fünften Ordnung das Minimum ist, daß bei diesem Resonator die Oberschwingung der fünften Ordnung am einfachsten zu erregen ist.

Vibrationsfrequenz auf einen Wert eingestellt ist, beispielsweise ungefähr 60%, der erheblich geringer als 80 % ist. Qualitativ kann die Impedanz für eine Oberschwingung der siebten Ordnung geringfügig kleiner sein als die Impedanz für die Oberschwingung der fünften Ordnung. Aufgrund der Charakteristik der Oszillationsschaltung schwingt die Oszillationsschaltung auch in einem solchen Fall nicht mit der Oberschwingungsfrequenz der siebten Ordnung, bei der die Resonatorimpedanz minimal ist, sondern die Oszillationsschaltung kann bei der Oberschwingungsfrequenz der fünften Ordnung schwingen.

Daher bezeichnet der Ausdruck "gewünschte Oberschwingung" nicht immer eine Oberschwingung, bei der die Resonatorimpedanz, von der Oszillationsschaltung her gesehen, minimal wird. Es ist daher ausreichend, daß die Impedanz bei der "gewünschten Oberschwingung" erheblich geringer ist als bei der Oberschwingung der unteren Ordnung, welche die Grundwellenvibration einschließt.

Der den genannten Bedingungen entsprechende Resonator kann in Draufsicht eine Konfiguration gemäß den Fig. 6a - 6c aufweisen.

Genauer gesagt sind, wie in den Fig. 6a und 6b dargestellt, Haupt-Vibrationsenergie-einfangelektroden 2 und 2' im Mittelbereich eines piezoelektrischen Substrats 1 angeordnet, Nicht-Elektrodenbereiche 3 und 3' (Vibrationsenergieausbreitungsbereiche) sind um die Elektroden herum angeordnet, Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' mit geeigneter Konfiguration sind um die Nicht-Elektrodenbereiche angeordnet, und beide Elektroden 2, 4 und 2', 4' sind durch Leitungsdrähte 5 und 5' verbunden, die um den Umfang des Substrats 1 angeordnet sind, und die Vibrationsabsorptionselektroden 4 und 4' sind miteinander gekoppelt, so daß sie das gleiche Potential aufweisen.

Durch Verbinden der Vibratoren und der Schaltung an den Kontakten der Vibrationsenergieabsorptionselektroden können die Elektroden als Wannenelektroden verwendet

Mit steigender Frequenz wird die Dicke der Haupt-Vibrationsenergieeinfangelektroden 2 und 2' extrem dünn, wodurch die elektrische Leitfähigkeit verringert wird und Leistungsfähigkeit der Elektrode verlorenght. Um dieses Problem zu lösen, werden die Bereiche des piezoelektrischen Substrats, die den Elektroden entsprechen, wie in Fig. 7c gezeigt leicht ausgenommen, um die erforderliche Elektrodendicke zu gewährleisten.

Es ist nicht immer erforderlich, die Elektroden an den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen am äußersten Umfang des piezoelektrischen Substrats anzubringen, sondern die Dicke des Substrats in diesem Bereich kann, wie in Fig. 7d gezeigt, verdickt ausgebildet sein, um unerwünschte Vibrationsenergie durch dicke Endbereiche 4" zu verbrauchen.

Um die zuvor genannte Aufgabe zu lösen, ist es nicht immer notwendig, die Dicke des piezoelektrischen Substrats 1 am äußersten Umfang zu vergrößern, sondern es kann ein Material mit einer hohen Schalldämpfung wie beispielsweise Blei, Zinn, Gold, etc. vorgesehen werden, oder es kann ein organisches Material 6,6' und 7, 7' wie Epoxidharz durch Dickfilmsdruckverfahren oder dergleichen aufgebracht werden.

Wie in Fig. 7f dargestellt, kann ein punktförmiges Material 8,8' und 9, 9' mit hoher Schalldämpfung, beispielsweise ein elektrisch leitfähiges Bindematerial, auf den Elektroden 4, 4' vorgesehen werden, um unerwünschte Vibrationsenergie zu verbrauchen. Der Resonator kann an dem punktförmigen Material gehalten sein.

Das Ergebnis eines Versuchs bezüglich der Charakteristiken des Resonators nach diesem Ausführungsbeispiel wird im folgenden kurz beschrieben.

In diesem Versuch wurde ein Resonator mit dem im Fig. 4 dargestellten Aufbau und der folgenden Spezifikation verwendet.

eingefangene Modus nicht gegeben ist, und daß die Position von  $na\sqrt{\Delta}/H$  die Position ist, an der der Prozentsatz des Einfangens der  $a_0$ -Modus-Kurve maximal ist, wird die Vibrationsenergie der Oberschwingung mit einer über der  $n$ -ten Ordnung liegenden Ordnung nahe den Umfängen der geteilten Elektroden 20, 20' und 30, 30' eingefangen, wie in der Fig. 8b dargestellt, während die Vibrationsenergie einer Oberschwingung mit einer geringeren Ordnung als der  $(n-2)$ ten Ordnung sich über die gesamte Oberfläche des piezoelektrischen Substrats 1 ausbreitet und ein erheblicher Energiebetrag leckt und durch den Substratträgerbereich verbraucht wird, der den Umfang des Substrats trägt.

Die Vibrationsenergie der Oberschwingung einer über der  $n$ -ten Ordnung gelegenen Ordnung, die nahe den Umfängen der geteilten Elektroden 20, 20' und 30, 30' eingefangen wird, hat einen höheren äquivalenten Widerstand, je höher die Ordnung der Oberschwingung steigt, wie zuvor beschrieben, so daß der Resonator mit der  $n$ -ten Oberschwingungsfrequenz schwingen kann, ohne daß die Oszillationsschaltung verändert wird.

Fig. 8c zeigt ein grundsätzliches Verfahren zum Auswählen von Parametern, bei dem ein dritter Oberschwingungsresonator erhalten werden soll, indem eine Erregung des  $a_0$ -Modus verwendet wird. Der Prozentsatz  $T$  des Einfangens der  $a_0$ -Modus-Vibrationsenergie wird null, wenn der Einfangkoeffizient  $na\sqrt{\Delta}/H$  geringer als 0,4 ist, so daß es bei der Grundwellenvibration ( $n=1$ ) und der Oberschwingung der dritten Ordnung ( $n=3$ ) ausreicht, die Parameter derart zu bestimmen, daß

$$a\sqrt{\Delta}/H \approx 0,4 \text{ und } 3a\sqrt{\Delta}/H \approx 1,2 \text{ ist.}$$

Der Abstand zwischen den geteilten Elektroden kann mit einem geeigneten Wert gewählt sein, solange kein Kurzschluß zwischen den Elektroden auftritt. Ist der Abstand zwischen den Elektroden extrem gering, wie auf diesem Gebiet bekannt, werden

kann, in dem der äquivalente Widerstand für die Oberschwingung fünfter Ordnung höher ist als derjenige für die Oberschwingung siebter Ordnung.

In einem solchen Fall, in dem der Unterschied zwischen den äquivalenten Widerständen für die Oberschwingungen der fünften und der siebten Ordnung gering ist, kann gesagt werden, daß die Vibration der Oberschwingungsfrequenz der fünften Ordnung im Hinblick auf die Beziehung zur zuvor beschriebenen Charakteristik der Oszillationsschaltung möglich ist. Wenn der Unterschied zwischen den äquivalenten Widerständen für die Oberschwingungen der fünften und der siebten Ordnung jedoch groß ist, kann die Oszillationsschaltung mit der Frequenz der Oberschwingung der siebten Ordnung schwingen.

Um diese Instabilität zu vermeiden, wird der Prozentsatz des Einfangens der Vibrationsenergie der Oberschwingung der dritten Ordnung geringfügig größer als null gewählt, und der Prozentsatz des Einfangens der Vibrationsenergie der Oberschwingung fünfter Ordnung ist derart gewählt, daß der äquivalente Widerstand für eine gewünschte Oberschwingung der fünften Ordnung erheblich kleiner wird als derjenige der Oberschwingung der dritten Ordnung und daß der äquivalente Widerstand geringfügig größer ist als für die Oberschwingung der siebten Ordnung.

Es sei darauf hingewiesen, daß es bei dieser Erfindung nicht immer erforderlich ist, die Vibrationsenergie einer Oberschwingung (einschließlich der Grundwellenvibration) mit einer Ordnung zu wählen, die geringer als die gewünschte Oberschwingung ist, um einen vollkommenen nicht eingefangenen Modus zu erzielen.

Im Vorhergehenden wurden Resonatoren anhand eines Falles beschrieben, in dem die asymmetrische ( $a_0$ ) der geringsten Ordnung als Beispiel verwendet wurde, wobei die Parameter  $a$  und  $\Delta$  auf die gleiche Art und Weise gewählt werden können, wie bei einer

Modus höherer Ordnung der symmetrische Modus nicht erregt wird. Jedoch werden aufgrund von Herstellungsfehlern des Resonators einige andere Modi erregt.

Unter den verwendeten Vibrationsmodi wird ein Modus einer anderen Ordnung, beispielsweise der  $a_2$ -Modus, in bezug auf einen Modus ausreichend erregt.

Im ersteren Fall ist die Reaktion jedoch inhärent sehr gering und im letzteren Fall ist die Reaktion ebenfalls sehr gering, da die Zahl der Höhen oder Tiefen des erzeugten Ladungsmusters nicht mit dem Elektrodenteilungsmuster übereinstimmt, so daß die Reaktion ebenfalls sehr gering ist. In jedem Fall erreicht die unerwünschte Resonanz keinen Pegel, der Probleme verursacht.

Zu Bezugszwecken sind in den Fig. 11a und 11b Verfahren zur Verbindung einer in drei Abschnitte geteilten Elektrode dargestellt, die den  $S_1$ -Modus verwendet.

Beispiele für die auf dem piezoelektrischen Substrat eines Resonators mit einer in zwei oder mehr Abschnitte unterteilten Elektrode auszubildende Leiterstruktur sind in den Fig. 12a bis 12d dargestellt. Die Fig. 12a und 12b zeigen Beispiele für Reihen- und Parallelschaltungen der in zwei Abschnitte aufgeteilten Elektrode, während die Fig. 12c und 12d Beispiele für Reihen- und Parallelschaltungen der in drei Abschnitte unterteilten Elektrode darstellen. Wenn die Leiterstrukturen 50 und 50' um den Rand des piezoelektrischen Substrats ausgebildet werden, wird eine Leiterstruktur auch auf die Kante aufgedampft oder ein elektrisch leitfähiger Punkt oder ein Bonding-Mittel wird aufgebracht, um die Strukturen auf der Vorder- und der Rückseite zu verbinden.

Da der Resonator gemäß diesem Ausführungsbeispiel derart aufgebaut ist, daß er bewirkt, daß die Vibrationsenergie einer Oberschwingung einer Ordnung, die geringer ist als diejenige der gewünschten Oberschwingung, die die Grundwellenvibration enthält, leckt und sich über die gesamte Oberfläche des piezoelektrischen Substrats

Bei mehreren Vibrationsfrequenzen, deren Energie absorbiert werden soll, können mehrere verschiedene Widerstände mit  $(2\pi f_a C_o)^{-1}$ ,  $(2\pi f_b C_o)^{-1}$ , ..., am Rand des Resonators angebracht werden. Alternativ kann ein Widerstand  $(2\pi f_m C_o)^{-1}$  vorgesehen werden, wobei  $f_m$  der Durchschnittswert von  $f_a$ ,  $f_b$ , .... ist.

Der Widerstand ist nicht notwendigerweise auf einen zur Herstellung einer elektronischen Schaltung verwendeten Widerstand beschränkt. Der Widerstand kann beispielsweise eine Beschichtung aus einem elektrisch leitfähigen Bonding-Mittel zum Befestigen des Trägers eines herkömmlichen Quarz-Vibrators sein. Dies ist dahingehend vorteilhaft, daß eine Verwendung ohne Beeinflussung der Produktivität des Resonators möglich ist.

Zwei verschiedene Konstruktionen des Oberschwingungsresonators, die eine asymmetrische ( $a_0$ ) Vibration geringerer Ordnung verwenden und auf dem zuvor beschriebenen Prinzip basierend hergestellt sind sowie deren Charakteristiken werden im folgenden beschrieben.

Fig. 14a ist eine Draufsicht auf einen Grund-Oberschwingungsresonator der dritten Ordnung, welcher nicht mit einem Vibrationsenergieabsorptionsbereich gemäß der vorliegenden Erfindung versehen ist. Wie dargestellt, sind aus der in zwei Abschnitte geteilten Hauptelektrode 20 und 20' führende Leitungsdrähte 50 in der Mitte eines kreisförmigen Quarz-Substrats zur parallelen Verbindung vorgesehen, wobei die Vorderseiten- und die Rückseitenelektroden den gleichen Aufbau aufweisen.

In Fig. 14b sind Vibrationsenergieabsorptionsbereiche 60 am Außenumfang eines Quarz-Substrats vorgesehen. Die Ergebnisse der Messungen der Charakteristiken diese beiden Typen von Resonatoren zeigen, daß bei dem ersteren die CI-Werte der Oberschwingungsfrequenzen der dritten Ordnung und der ersten Ordnung (Grundwelle)  $70\Omega$  und  $175\Omega$  betragen. Wird eine geringe Menge eines elektrisch leitfähigen Bonding-

den Energieabsorptionsbereichen verbraucht wird, wodurch deren Effekt verringert wird. Es ist daher wesentlich, den Zwischenraum zwischen dem Energieabsorptionsbereich und der Erregerelektrode auf einen optimalen Wert einzustellen.

Bei dem in Fig. 16a dargestellten Aufbau sind Harzfilme 70' an den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen 60 am Umfangsrand des piezoelektrischen Substrats angebracht, um die Grenzfrequenz der Bereich 60 zu verringern. Fig. 16b zeigt einen Aufbau, bei dem zum Zwecke des Erhaltens einer ausreichend großen Grenzfrequenzdifferenz die Dicke des Substrats zwischen den Hauptelektroden 20 und 30 in der Mitte des Substrats und den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen 60 durch Ätzen verringert ist, um deren Grenzfrequenz zu erhöhen. Fig. 16c zeigt einen Aufbau, bei dem die Dicke des Substrats zwischen den Hauptelektroden 20 und 30 verringert ist und die Elektroden 80 an den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen 60 angebracht sind, wodurch eine elektrothermische Umwandlung der Vibrationsenergie möglich ist. In Fig. 16d sind nur die Elektrodenkontakte zum Substrat zur Verringerung der Dicke geätzt, um eine Erhöhung des elektrischen Widerstands aufgrund der Verringerung der Filmdicke der Hauptelektroden 20, 20' und 30, 30' zu verhindern.

Obwohl im Vorhergehenden ein Resonator beschrieben wurde, der die asymmetrische ( $a_0$ ) Vibration der geringsten Ordnung verwendet und den einfachsten Aufbau aufweist, sei darauf hingewiesen, daß die Erfindung nicht auf diesen Aufbau beschränkt ist, sondern auch symmetrische ( $S_1, S_2, \dots$ ) Vibrationen höherer Ordnungen und asymmetrische Vibrationen höherer Ordnungen verwenden kann.

Der Vibrationsmodus eines dargestellten Resonators ist der asymmetrische Vibrationsmodus der geringsten Ordnung eines Quarz-Substrats, das in Z-Richtung erregt ist, jedoch kann das Quarz-Substrat auch in X-Richtung erregt sein. Ferner ist es möglich, die Elektrode in Z- und X-Richtung zu teilen, um Vibrationen in beide Richtungen zu erregen.

Der Wert des Widerstands  $R$  wird derart eingestellt, daß er im wesentlichen gleich  $(2\pi f_n C_o)^{-1}$  ist, wobei  $C_o$  die Kapazität zwischen den Elektroden 4 und 4' und  $f_n$  die Frequenz der Oberschwingung angibt, deren Energie in Wärme umgewandelt und verbraucht werden soll. Diese Bedingung entspricht der Impedanzübereinstimmung einer Wechselstromschaltung, so daß dies eine höchst wirksame Maßnahme zum Absorbieren unerwünschter Vibrationsenergie darstellt.

Wenn es erforderlich ist, mehrere Vibrationsenergien von Oberschwingungen der Grundordnung (erste Ordnung) und der dritten Ordnung zu verbrauchen, wie bei dem Oberschwingungsresonator der fünften Ordnung, wird eine Frequenz  $f_m$ , die zwischen der Grundwellenfrequenz  $f_{n1}$  und der Oberschwingungsfrequenz der dritten Ordnung  $f_{n3}$  liegt, zum Einstellen des Werts des Widerstands auf  $R = (2\pi f_m C_o)^{-1}$  verwendet. Alternativ sind, wie in Fig. 18 dargestellt, die Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' geteilt und Widerstände mit den Werten  $R_1 = (2\pi f_{n1} C_o)^{-1}$  und  $R_2 = (2\pi f_{n3} C_o)^{-1}$  sind zwischen den jeweiligen geteilten Elektroden angeordnet.

Fig. 19a ist eine Draufsicht auf eine auf diesem Prinzip basierende Modifikation und Fig. 19b ist eine Schnittdarstellung dieser Modifikation entlang einer Linie A-A. Bei dieser Modifikation sind Vibrationseinfangelektroden 2 und 2' auf beiden Seiten in der Mitte eines Quarz-Substrats 1 vorgesehen, und die Elektroden 2 und 2' sind mit Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' in geeigneten Bereichen am Außenumfang des Substrats 1 über die Strukturen 5 und 5' verbunden.

Die Elektroden 4 und 4' sind mit von einer nicht dargestellten Basis aufragenden Resonatorhalteteilen 6 verbunden, um den Resonator zu stützen, wobei ein elektrisch leitfähiges Bonding-Mittel 7 zur Herstellung der elektrischen Verbindung und der mechanischen Befestigung verwendet wird.

und eine obere Elektrode 100 und deren Leiterelektrode 700 werden auf den  $\text{ZnO}_2$ -Film aufgedampft. Die von den Elektroden 800 und 100 bedeckten Bereiche dienen als die Vibrationsenergieeinfangbereiche mit einer Grenzfrequenz  $f_1$ . Die Dünnschicht 700, die sich um den Außenumfang der Elektroden erstreckt, dient als der Vibrationsenergieübertragungsbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_2$ , und der nicht geätzte Bereich 500 des Siliziumblocks dient als ein Vibrationsenergieabsorptionsbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_3$ . Die Gleichung  $f_3 > f_1 > f_2$  gilt somit automatisch, so daß durch geeignetes Steuern des Verhältnisses zwischen  $f_1$  und  $f_2$ , des Absolutwerts von  $f_2$  und der Durchmesser der Elektroden 800 und 100 ein piezoelektrischer Oberschwingungsresonator erhalten werden kann, der in der Lage ist, mit einer gewünschten Oberschwingungsordnung zu schwingen, da diese Werte jeweils dem Anodenrückkopplungswert  $\Delta$ , der Substratdicke  $H$  und der Elektrodengröße  $a$  entsprechen, welche die Parameter des Einfangkoeffizienten sind.

Wie auf diesem Gebiet bekannt, ist es möglich, extrem dünne Schichten 700 und gesputtertes  $\text{ZnO}_2$  auszubilden und dadurch eine hohe Grundwellenschwingungsfrequenz zu erzielen, so daß es klar ersichtlich ist, daß es möglich ist, eine Hochfrequenzschwingungsschaltung mit der 3-, 5- oder 7-fachen Frequenz zu schaffen, die keine besondere Schaltung erfordert, beispielsweise eine LC-Abstimmungsschaltung.

Der Resonator ist nicht auf einen Siliziumblock beschränkt. Nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist, wie in Fig. 22 dargestellt, eine Öffnung mit gewünschtem Durchmesser in der Mitte eines Kunstquarz- oder Glasblocks 110 durch mechanische Bearbeitung oder durch Ätzen ausgebildet, und eine Quarz- oder Glasplatte 130 ist fest mit einer Fläche des Blocks durch ein dreilagiges legiertes Bonding-Mittel 120 verbunden, das aus Al-Ag-In besteht. Nach dem Lappen der Quarz- oder der Glasplatte auf eine gewünschte Dicke, werden eine obere und eine untere Elektrode 800 und 100 und ein piezoelektrischer Bereich 900 aus ZnO hergestellt, der zwischen der oberen und der unteren Elektrode sandwich-artig angeordnet ist.

Es wurde daher ein Versuch durchgeführt, wobei ein Oberschwingungsresonator gemäß Fig. 25 verwendet wurde, bei dem der Betrag der Befestigung der Vibrationsenergieabsorptionselektrode 4 zur Bestimmung der Differenz zwischen dem CI-Wert der Grundwellenvibration und dem CI-Wert der gewünschten Oberschwingung der dritten Ordnung variiert wurde.

Fig. 26 ist eine Kurve zur Darstellung des Versuchsergebnisses, bei dem, nach Festlegung der Größe der aus Ag bestehenden Erregerelektrode 2, die Filmdicke zur Veränderung des Einfangkoeffizienten  $n\sqrt{\Delta}/H$  variiert wurde. Für acht Einfangkoeffizienten wurde die Menge an Ag der Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 auf das 1-, 2-, 4- und 8-fache derjenigen der Erregerelektrode verändert, und das Verhältnis zwischen dem CI-Wert der zu unterdrückenden Grundwellenschwingung und dem CI-Wert der gewünschten Oberschwingung der dritten Ordnung wurde aufgezeichnet.

Wie aus der Fig. 26 ersichtlich, weist der CI-Wert der zu unterdrückenden Grundwellenschwingung einen Spitzenwert auf, außer in dem Fall, in dem das Verhältnis (Filmdicke) zwischen der Dicke der Energieabsorptionselektrode aus Ag und derjenigen der Erregerelektrode gleichmäßig ist, wobei der Spitzenwert mit der Zunahme des Filmdickenverhältnisses zunimmt.

Die gleiche Tendenz wurde bei Oberschwingungsresonatoren der fünften und der siebten Ordnung beobachtet, obwohl hier aus Gründen der Vereinfachung keine Figuren angegeben sind.

Das zuvor beschriebene Versuchsergebnis zeigt, daß es erforderlich ist, die Grenzfrequenz des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs geringer zu machen, als diejenige des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs, der mit der Erregerelektrode versehen ist. Es ist anders unmöglich, eine ausreichende Differenz zwischen dem CI-Wert der Oberschwingung einer Ordnung, bei der die Vibration gewünscht wird, und demjenigen der

höheren Oberschwingungsfrequenz aus, wie in Fig. 27c gezeigt, die Dicke der Bereiche des Substrats zu vergrößern, die die Vibrationsenergieabsorptionsbereiche bilden.

Die Grenzfrequenz  $f_2$  des piezoelektrischen Substrats um die Elektroden 2 und 2' herum muß nicht notwendigerweise auf beiden Flächen völlig gleich sein und ein geringfügiger Unterschied ist zulässig. Selbst wenn die Grenzfrequenz  $f_3$  der Vibrationsabsorptionsbereiche 400 am Umfang des piezoelektrischen Substrats erheblich variiert, besteht kein Problem, solange die Bedingung  $f_3 < f_1$  gewahrt ist.

Im folgenden wird ein Elektrodenaufbau des piezoelektrischen Resonators beschrieben, der das Kompensieren der Verschlechterung der Resonatorcharakteristik, welche durch das Abweichen der Position zusätzlicher Aufdampfung verursacht wird, die zum Zweck der Feinjustierung der Schwingungsfrequenz aufgebracht wurden, und die erhebliche Verringerung des Einflusses auf die Resonatorcharakteristik ermöglicht, den die Differenz der Dicke des piezoelektrischen Substrats ausübt, wodurch die Obergrenze der Resonanzfrequenz erhöht wird.

Fig. 28a ist eine Schnittdarstellung des grundsätzlichen Aufbaus der Elektrode eines solchen piezoelektrischen Resonators.

Genauer gesagt ist nahe dem Mittelbereich einer Fläche eines piezoelektrischen Substrats 1 eine Oberflächenelektrode 2 angebracht und eine hintere Elektrode 2' mit der selben oder einer größeren Fläche ist auf der Rückseite befestigt, und die Frequenz wird durch Aufbringen einer zusätzlichen Aufdampfung auf die Elektrode 2' justiert.

Durch diese Maßnahme besteht keine Möglichkeit für erneute unerwünschte Resonanz, selbst wenn sich die Position der zusätzlichen Aufdampfung zur Feinjustierung der Frequenz ein wenig verschiebt, da die Fläche der zusätzlichen Aufdampfung erheblich breiter ist als die Fläche der Oberflächenelektrode, beispielsweise um ungefähr das 1.5-

natürliche Frequenz des Substrats selbst eingestellt wird. Demzufolge ist nicht nur eine Einstellung der Resonanzfrequenz des Resonators möglich, sondern es können auch Resonatoren mit geringerer Abweichung in der Charakteristik in großen Mengen hergestellt werden.

Dieser Aufbau ist für das Erhalten eines Resonators vorteilhaft, der eine hohe Resonanzfrequenz aufweisen soll.

Genauer gesagt soll die Elektrode bei der Herstellung eines zuvor beschriebenen Resonators eine Filmdicke aufweisen, die ausreicht, einen gewünschten Prozentsatz des Einfangs von Vibrationsenergie zu schaffen. Der Parameter, der den Prozentsatz des Einfangs der Vibrationsenergie bestimmt, ist der sogenannte Einfangkoeffizient  $n\sqrt{\Delta}/H$ , wobei  $n$  die Ordnungszahl der Oberschwingung,  $a$  die Elektrodengröße,  $\Delta$  den Betrag der Anodenrückkopplung und  $H$  die Substratdicke angibt.

Wird ein Resonator mit einer hohen Resonanzfrequenz gewünscht, muß der Designer Parameter für den Einfangkoeffizienten zum Erzielen des gewünschten Energieeinfangsprozentsatzes auf einer Moduskurve ungeachtet des verwendeten Vibrationsmodus wählen.

Es existiert ein optimaler Wert des Einfangkoeffizienten, der einhergehende Zusatz-Resonanzen minimiert.

Bei der Untersuchung jeweiliger Parameter des Einfangkoeffizienten, ist die Substratdicke im wesentlichen durch die gewünschte Resonanzfrequenz bestimmt und die Elektrodengröße  $a$  muß aufgrund einer äquivalenten Induktanz, etc., mit einem vorbestimmten Wert angesetzt werden, so daß nur der verbleibende Parameter, das heißt der Wert der Anodenrückkopplung, das heißt die Elektrodenfilmdicke (Summe der Oberflächen- und Rückseitenfilmdicken), ein Problem darstellt.

Ausgehend von einem Durchmesser von 5 mm, kann ein Quarz-Substrat mit einer Dicke von ungefähr  $20\mu\text{m}$  gemäß dem gegenwärtigen Quarz-Poliervorgang hergestellt werden. Jedoch weist ein Resonator mit einem Durchmesser von 5 mm und an beiden Flächen des Substrats angebrachten Elektroden mit einer Dicke von ungefähr  $500\text{\AA}$  nahe der Grenze, die der elektrischen Charakteristik genügt, eine Substratdicke von ungefähr 24 Mikron auf und die Resonanzfrequenz ist auf ungefähr 68 MHz begrenzt. Durch Verwendung des Elektrodenaufbaus gemäß der vorliegenden Erfindung kann die als möglich erachtete Obergrenze der Resonanzfrequenz um 30% erhöht werden.

Ferner ist dieser Elektrodenaufbau für die Elektrode eines piezoelektrischen Oberschwingungsresonators vorteilhaft, der eine Feineinstellung erfordert.

Fig. 30a ist eine Draufsicht auf einen Oberschwingungsresonator, welcher der fundamentalste Resonator ist und den symmetrischen Modus ( $S_0$ ) der geringsten Ordnung verwendet. Wie dargestellt, ist eine Vibrationsenergieeinfangerregerielektrode 2 in der Mitte des piezoelektrischen Substrats 1 vorgesehen und Leck-Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' sind an geeigneten Stellen am Außenumfang des piezoelektrischen Substrats angebracht, wobei die Elektroden 2, 4 und 4' als aufgedampfter Leiterstrukturen ausgebildet sind.

Im Stand der Technik ist der Aufbau der hinteren Elektrode der selbe wie in Fig. 30a dargestellt.

Bei einem Oberschwingungsresonator mit dem zuvor beschriebenen Elektrodenaufbau wird die leckende Vibrationsenergie nicht ausreichend verbraucht, wenn nicht der Zwischenraum zwischen der Erregerelektrode 2 und dem Vibrationsenergieabsorptionsbereich 4 auf einem geeigneten Wert gehalten wird. Wenn der Zwischenraum daher zu gering ist, wird auch die Vibrationsenergie einer gewünschten Oberschwin-

Dieser Aufbau kann ebenfalls auf einen Resonator mit zwei Ports, bei dem die Erreger-elektrode in mehrere Abschnitte unterteilt sind, oder auf ein Dualmodus-Filter angewendet werden, der eine ähnliche Elektrodenkonstruktion hat.

Fig. 32a zeigt den Elektrodenaufbau bei Anwendung der vorliegenden Erfindung auf einen Resonator mit zwei Ports oder ein Dualmodus-Filter. Fig. 32b zeigt den Elektrodenaufbau bei Anwendung der vorliegenden Erfindung auf einen Oberschwingungsresonator, der die asymmetrische ( $a_0$ ) Vibration der untersten Ordnung verwendet, und Fig. 32c zeigt den Elektrodenaufbau bei Anwendung der vorliegenden Erfindung auf einen Oberschwingungsresonator, der eine symmetrische Vibration ( $S_1$ ) höherer Ordnung verwendet.

Mit diesen Elektrodenkonstruktionen kann das Problem von unerwünschten Resonanzen, die durch Verschiebung des Aufdampfungsbereichs verursacht werden, mit vereinfachter Einstellung etc. eliminiert werden, indem lediglich die Fläche oder die Dicke der Elektrode auf der Vorder- oder der Rückseite des Resonators verändert wird. Darüber hinaus werden Schwankungen der Resonatorcharakteristik, die durch Veränderungen des Prozentsatzes der eingefangenen Vibrationsenergie bewirkt werden, welche ihrerseits durch Veränderungen der Dicke des piezoelektrischen Substrats verursacht werden, zu kompensieren, wenn die Vibrationsfrequenz derselben eingestellt wird.

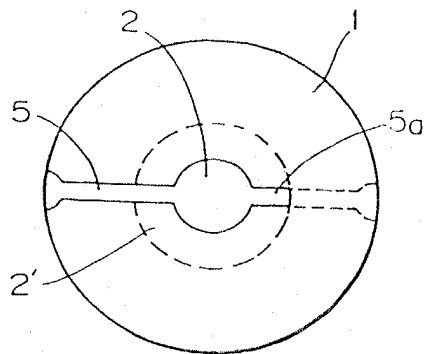
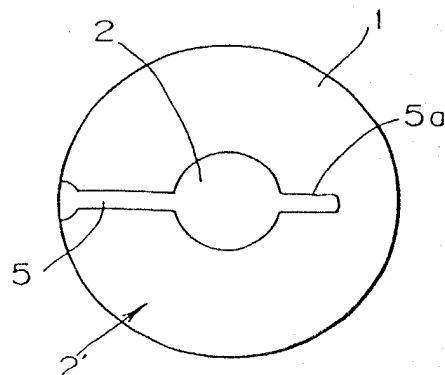
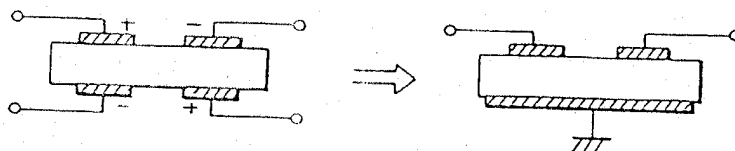
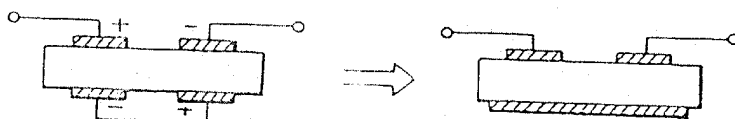
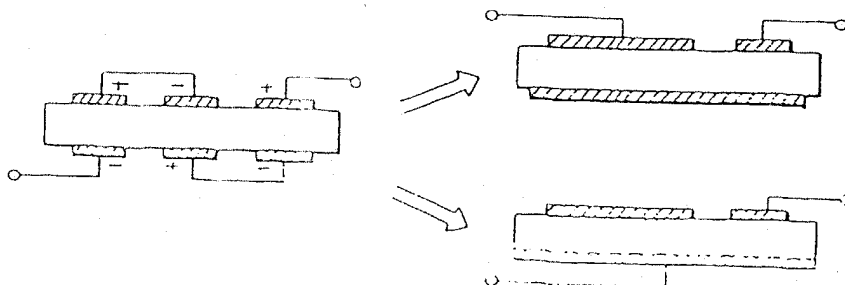
Da es ferner möglich ist, die Obergrenze der Frequenz des Resonators zu erhöhen, weist dieser eine ausgezeichnete Temperaturcharakteristik auf und ist in der Lage, als Frequenzquelle für verschiedenartige elektronische Geräte und Vorrichtungen zu dienen, deren Betriebsfrequenzen in den letzten Jahren gestiegen sind.

Da der Resonator gemäß der vorliegenden Erfindung gemäß dem Patenanspruch 1 aufgebaut ist, kann der Resonator leicht eine Oberschwingungsfrequenz erzeugen, ohne

## Patentansprüche

### 1. Piezoelektrischer Oberschwingungsresonator, bei dem:

- ein Vibrationsmedium vorgesehen ist,
- ein piezoelektrisches Material (900) mit zwei Erregungselektroden (100, 800) an dem Vibrationsmedium angebracht ist, um einen Vibrationsenergieeinfangbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_1$  zu bilden,
- wobei das Vibrationsmedium einen Dünnschichtbereich und einen den Dünnschichtbereich umgebenden Vibrationsmediumblock (110; 140) aufweist,
- wobei die Erregungselektroden (100, 800) im wesentlichen in der Mitte des Dünnschichtbereichs angebracht sind,
- ein Vibrationsenergieausbreitungsbereich sich um den Außenumfangsrand der Erregungselektroden (100, 800) erstreckt und eine Grenzfrequenz  $f_2$  aufweist, und
- ein Vibrationsenergieabsorptionsbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_3$  zum Absorbieren der durch den Vibrationsenergieausbreitungsbereich ausgebreiteten Vibrationsenergie ausgebildet ist,
- die Konfiguration der an dem piezoelektrischen Material (900) angebrachten Erregungselektrode derart gewählt ist, daß sie die Erregung einer Vibration eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus bewirkt, und
- ein Einfang-Koeffizient  $na\sqrt{\Delta}/H$  in dem gewählten Modus ausgewählt wird, um zu bewirken, daß die Schwingung des gewünschten Obertons leichter auftritt als die

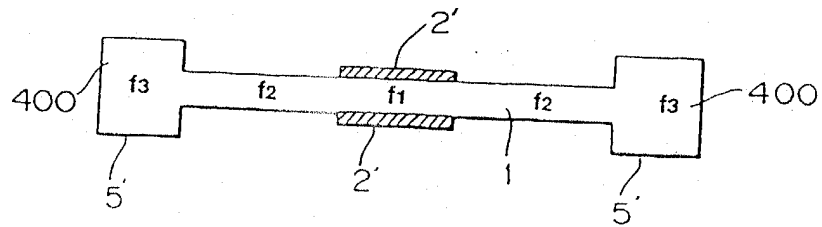
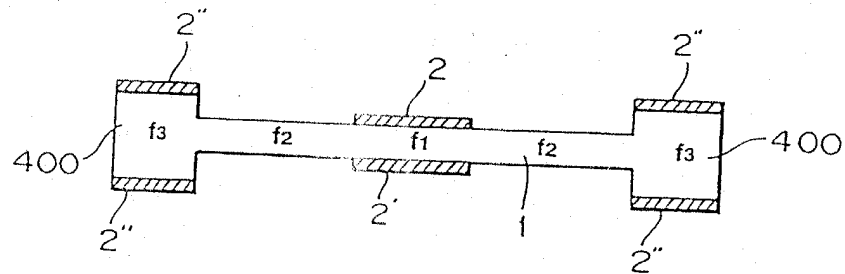
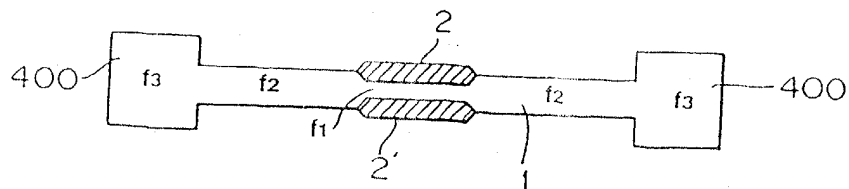
**FIG. 31a****FIG. 31b****FIG. 32a****FIG. 32b****FIG. 32c**Docket # GR 98 P 1686Applic. # 09/708,278Applicant: Quigley

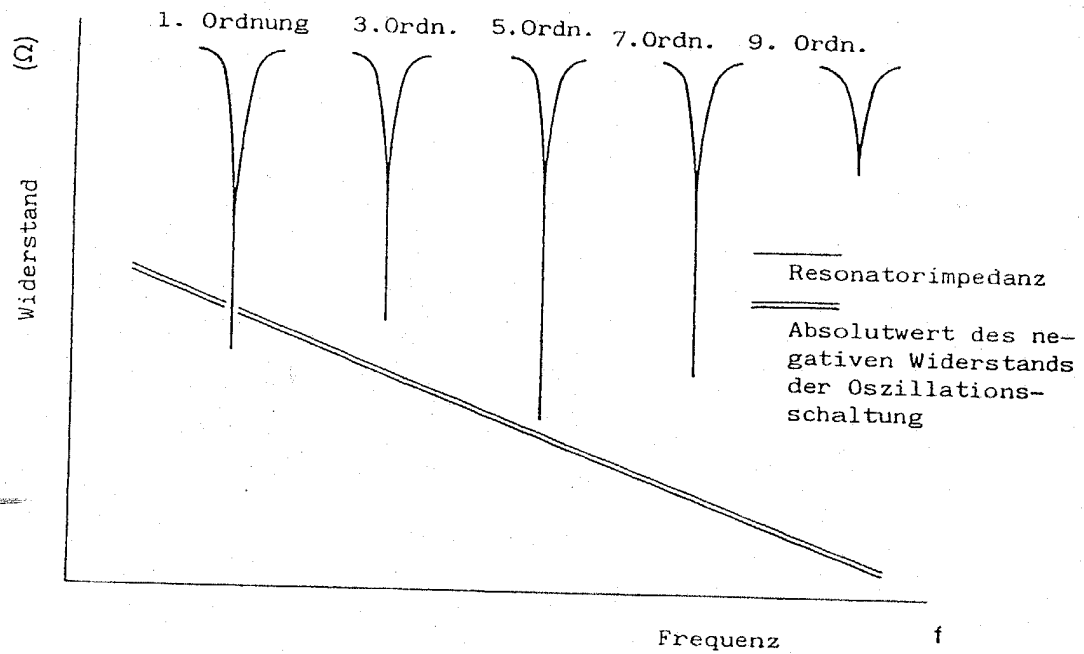
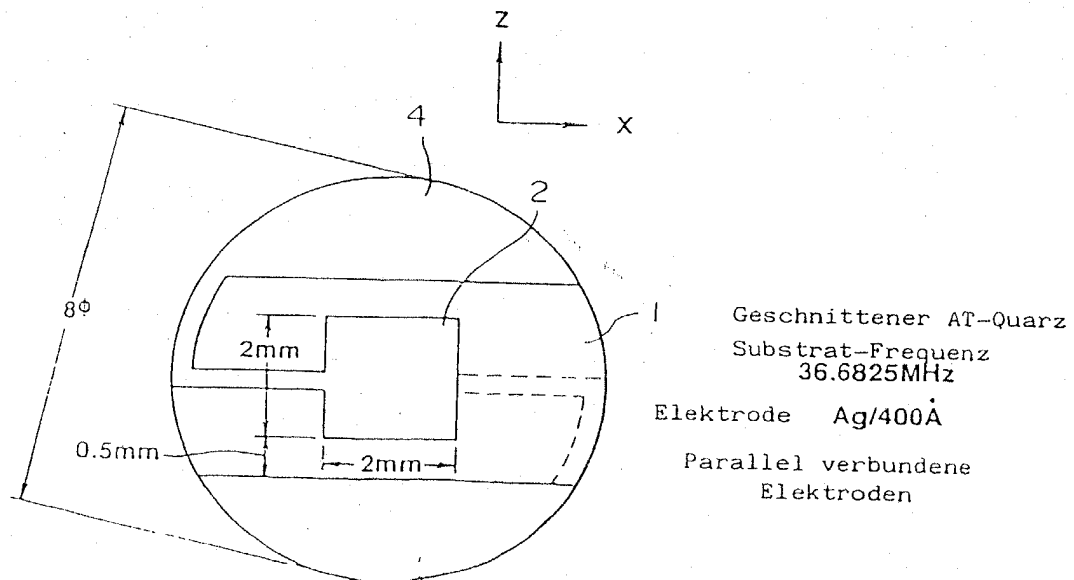
Lerner and Greenberg, P.A.

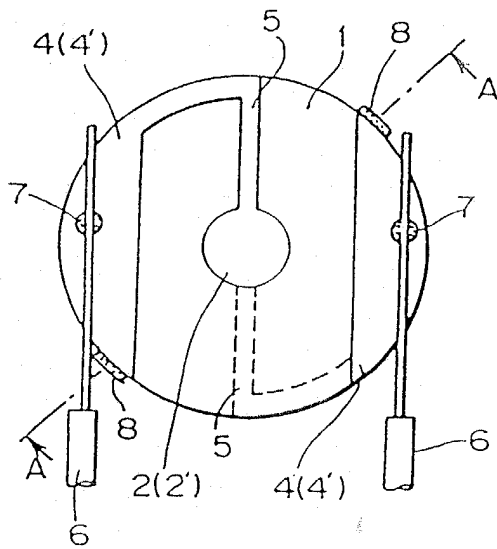
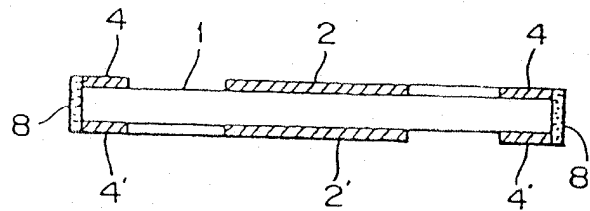
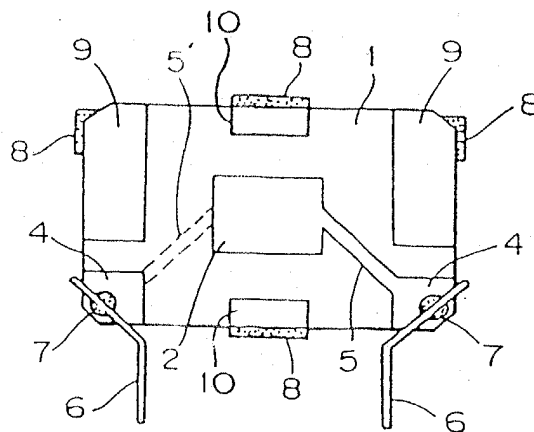
Post Office Box 2480

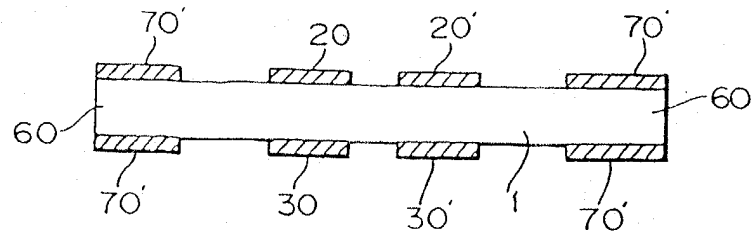
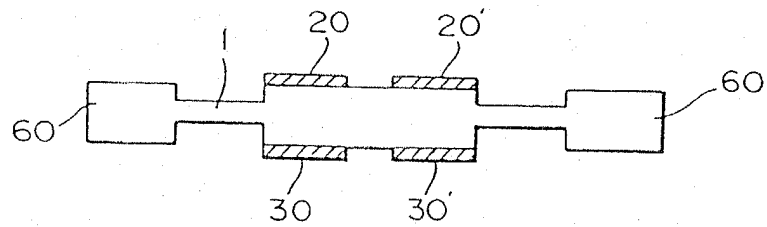
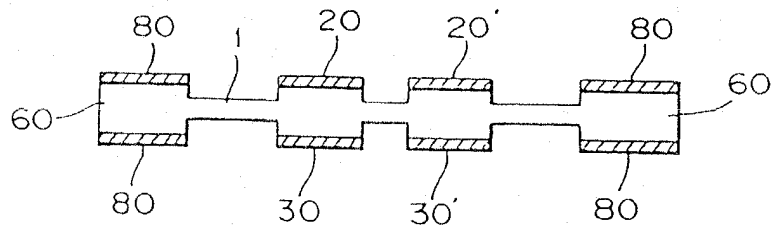
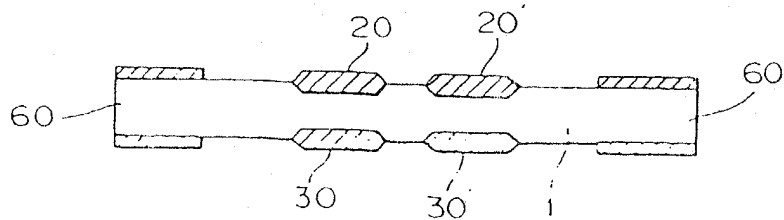
Hollywood, FL 33022-2480

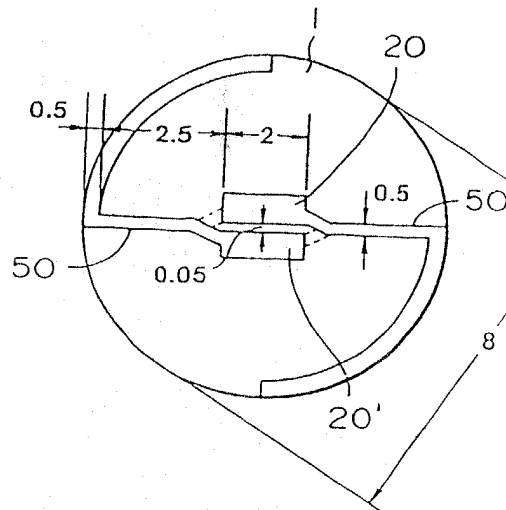
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101

**FIG. 27a****FIG. 27b****FIG. 27c**

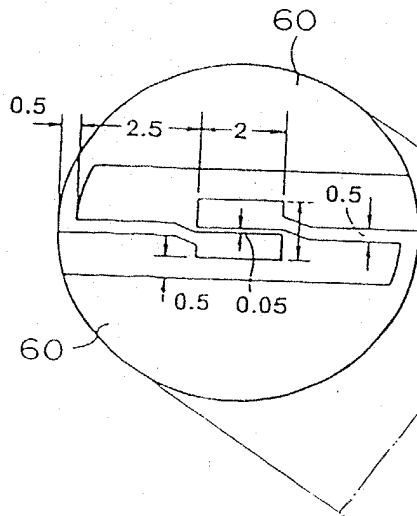
**FIG. 24****FIG. 25**

**FIG. 19a****FIG. 19b****FIG. 20**

**FIG. 16a****FIG. 16b****FIG. 16c****FIG. 16d**

**FIG. 14a**

Geschnittener AT-Quarz  
 Substrat-Frequenz  
 Elektrode Ag 400Å  
 Niedrigste Ordnung im asymmetri-  
 schen Modus  
 In Z-Richtung geteilt  
 Parallele Elektrodenverbindung

**FIG. 14b**

Geschnittener AT-Quarz  
 Substrat-Frequenz  
 Elektrode Ag 400Å  
 Niedrigste Ordnung im asymmetri-  
 schen Modus  
 In Z-Richtung geteilt  
 Parallele Elektrodenverbindung

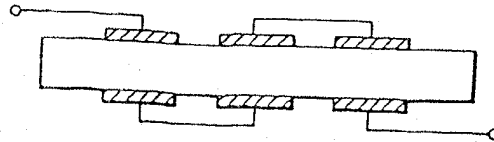
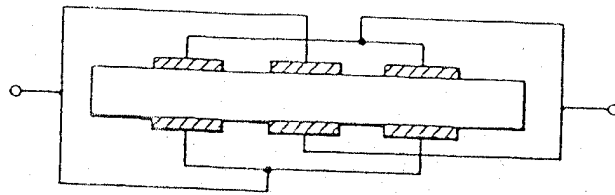
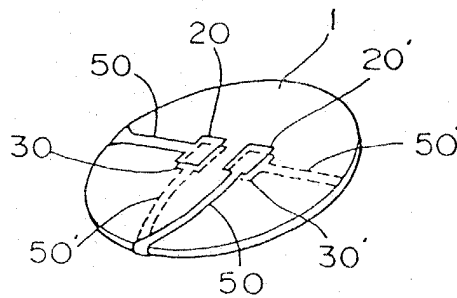
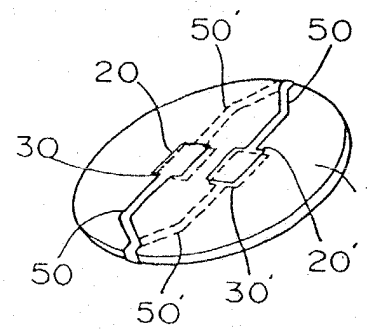
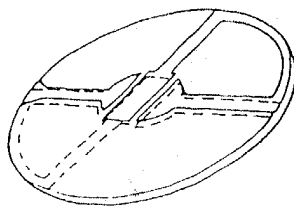
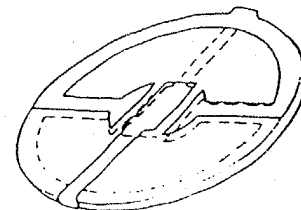
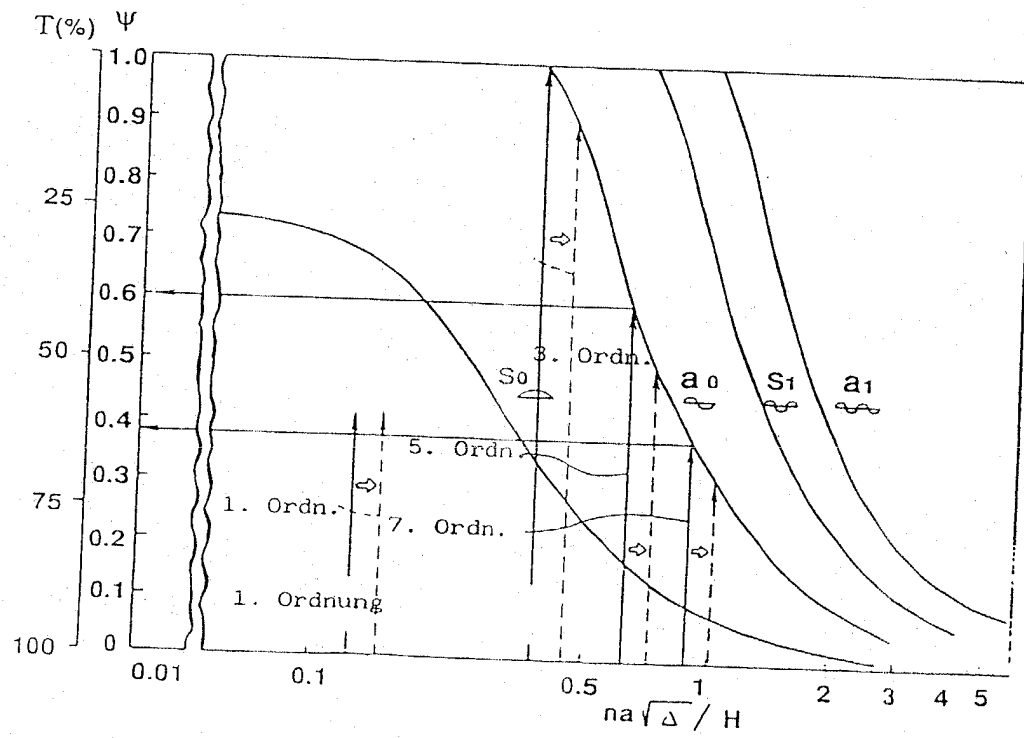
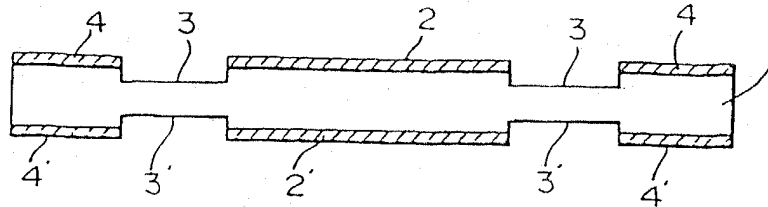
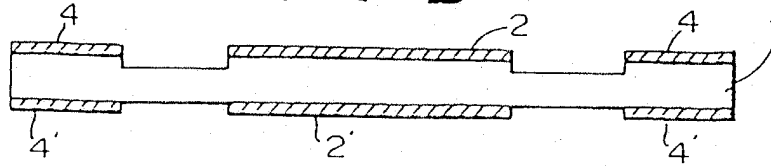
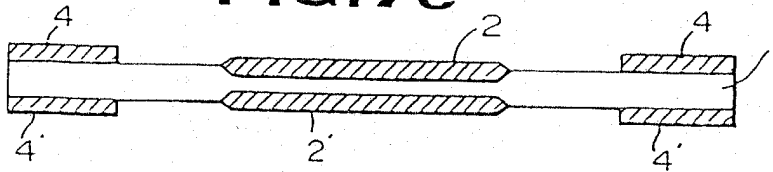
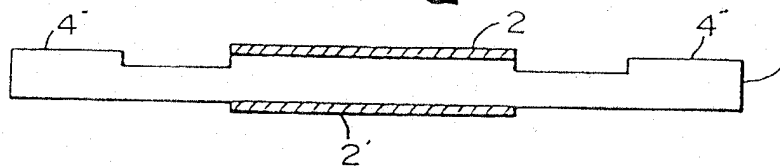
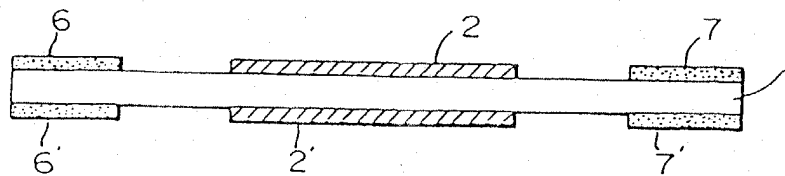
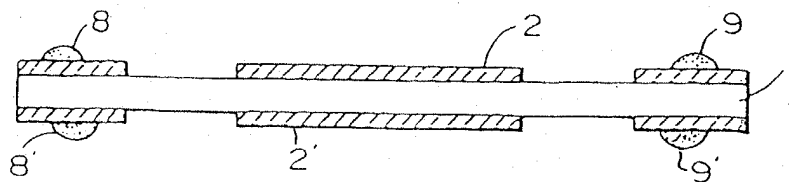
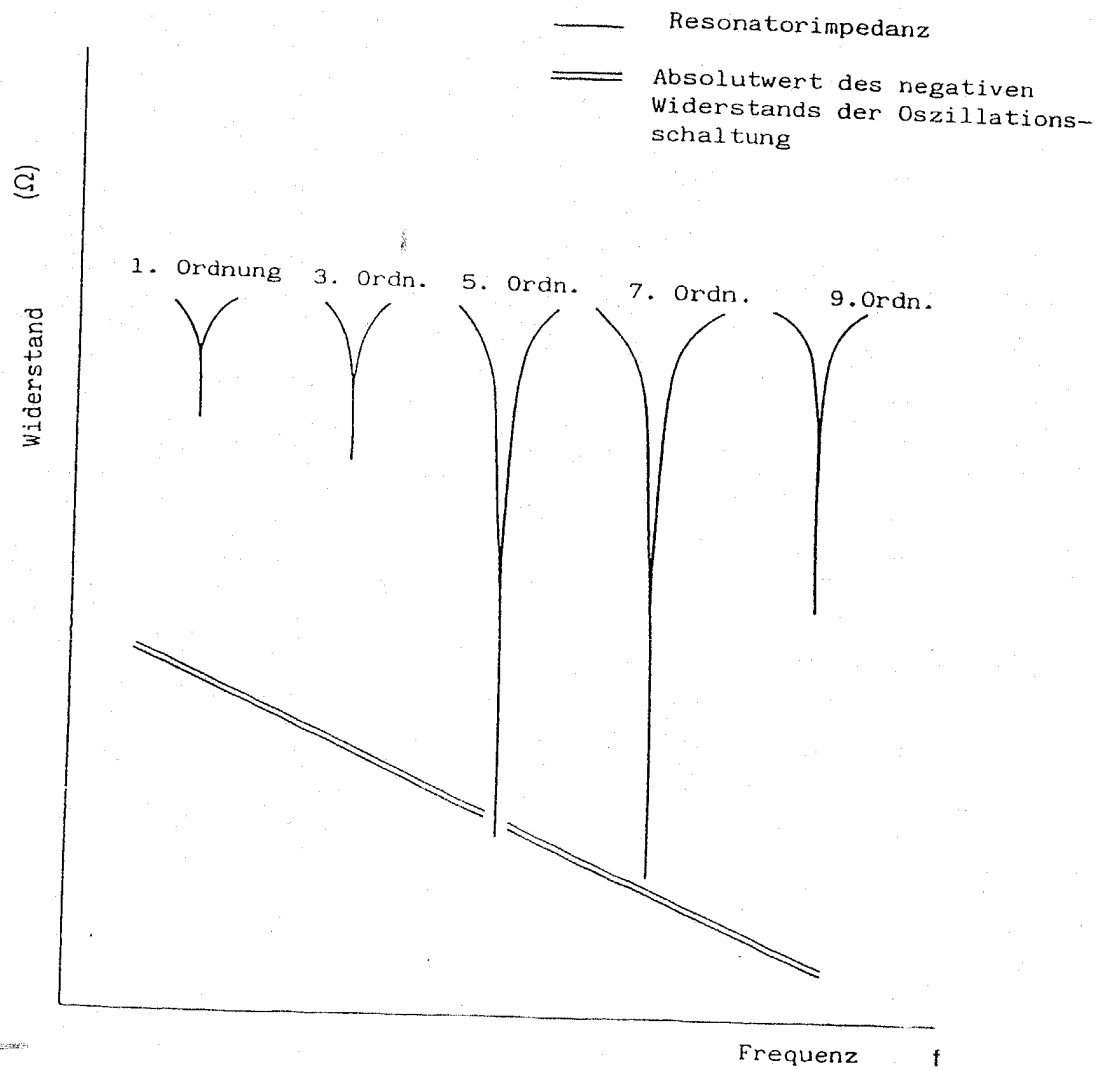
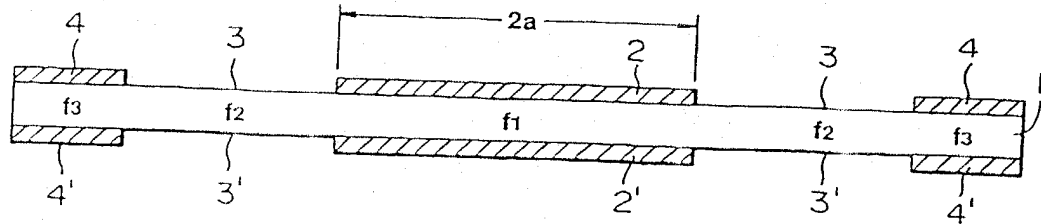
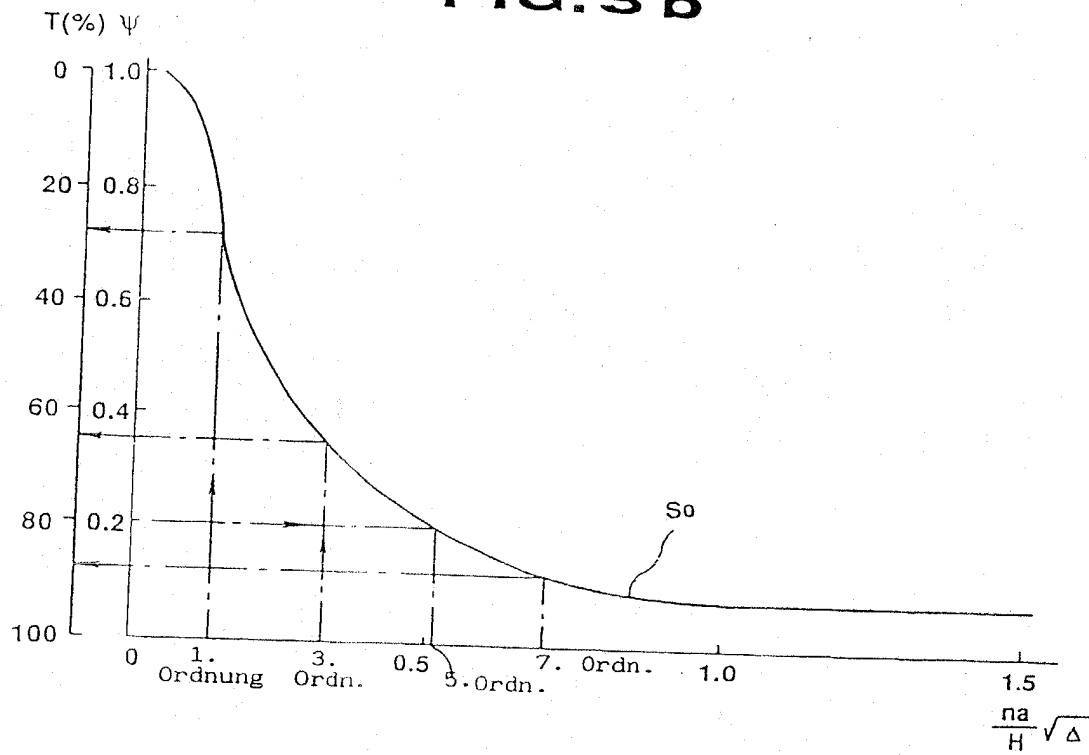
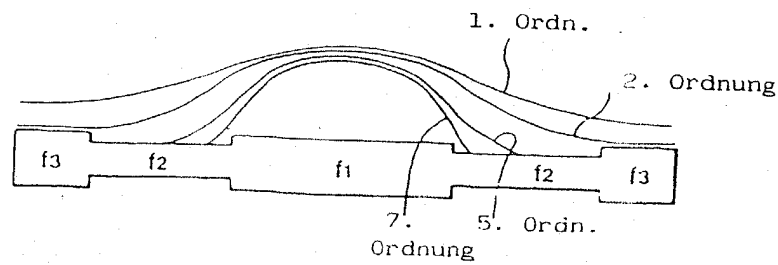
**FIG.11****FIG.11****FIG.12a****FIG.12b****FIG.12c****FIG.12d**

FIG. 9

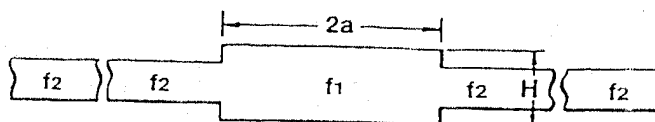


**FIG. 7a****FIG. 7b****FIG. 7c****FIG. 7d****FIG. 7e****FIG. 7f**

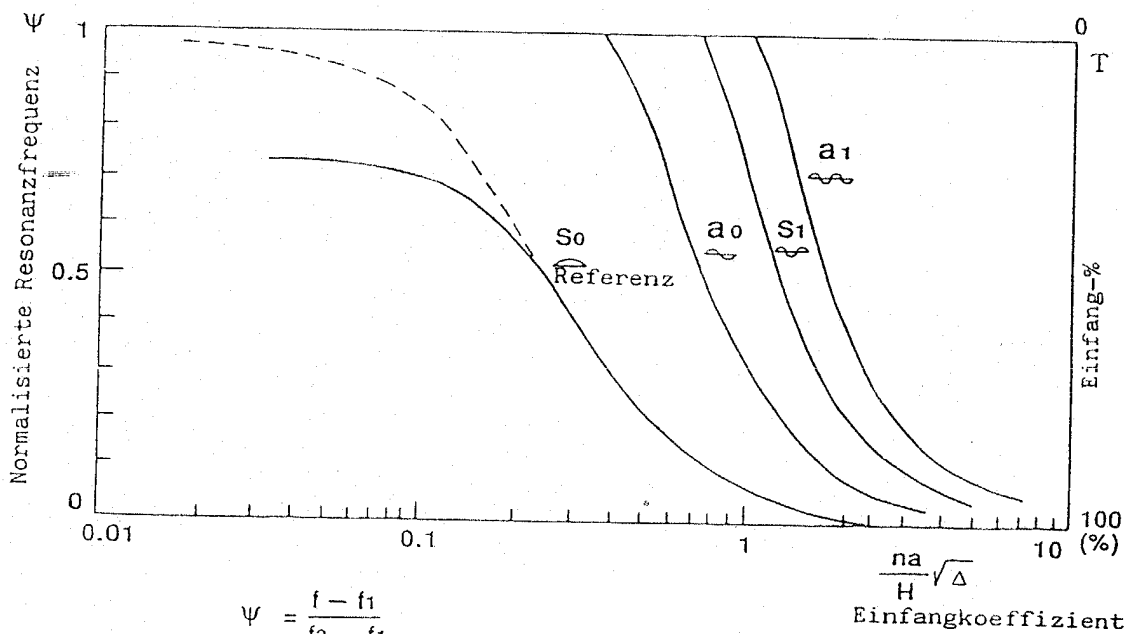
**FIG. 5**

**FIG. 3 a****FIG. 3 b****FIG. 3 c**

**FIG.1a**



**FIG.1b**



$$\Psi = \frac{f - f_1}{f_2 - f_1}$$

$$T = \frac{Ka}{2/\pi}$$

$K$  = Ausbreitungskoeffizient

$\Delta$  : % der Frequenzverringierung ( $\Delta = \frac{f_2 - f_1}{f_2}$ )

$n$  : Ordnung der Oberschwingung

6. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Dünnschichtbereich aus dem gleichen Material besteht wie der Vibrationsmediumblock (110; 140).

FIG. 2a

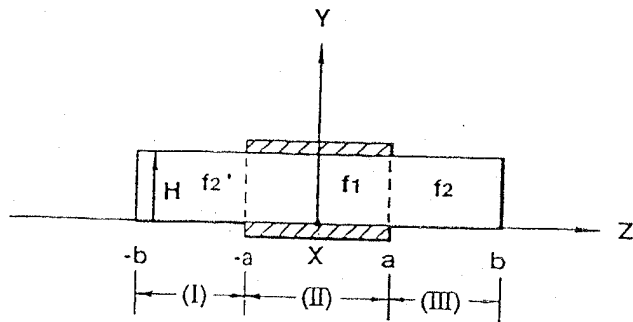
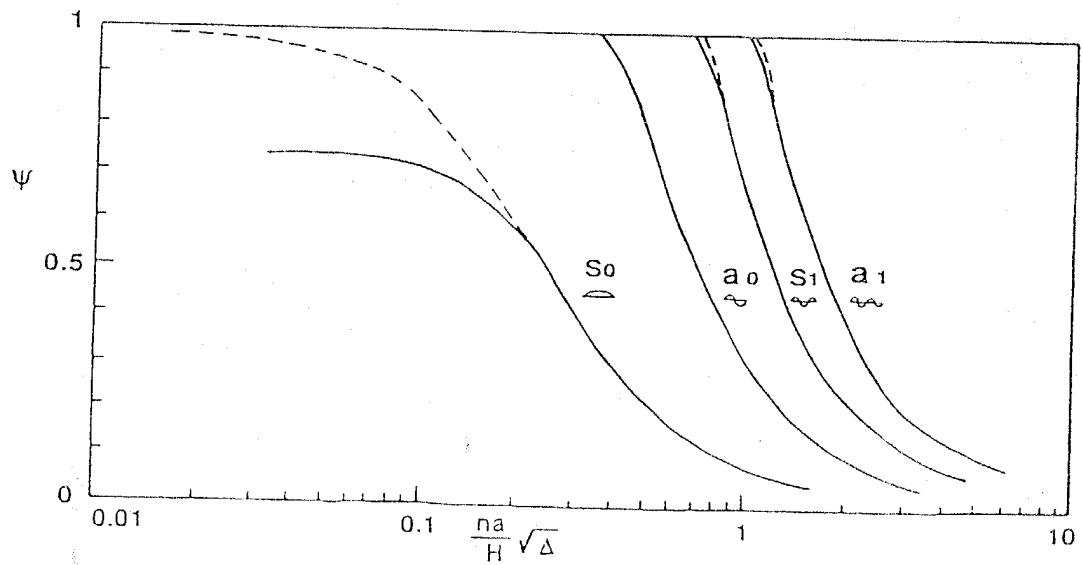
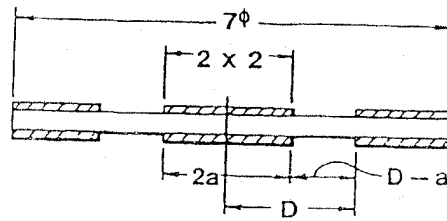
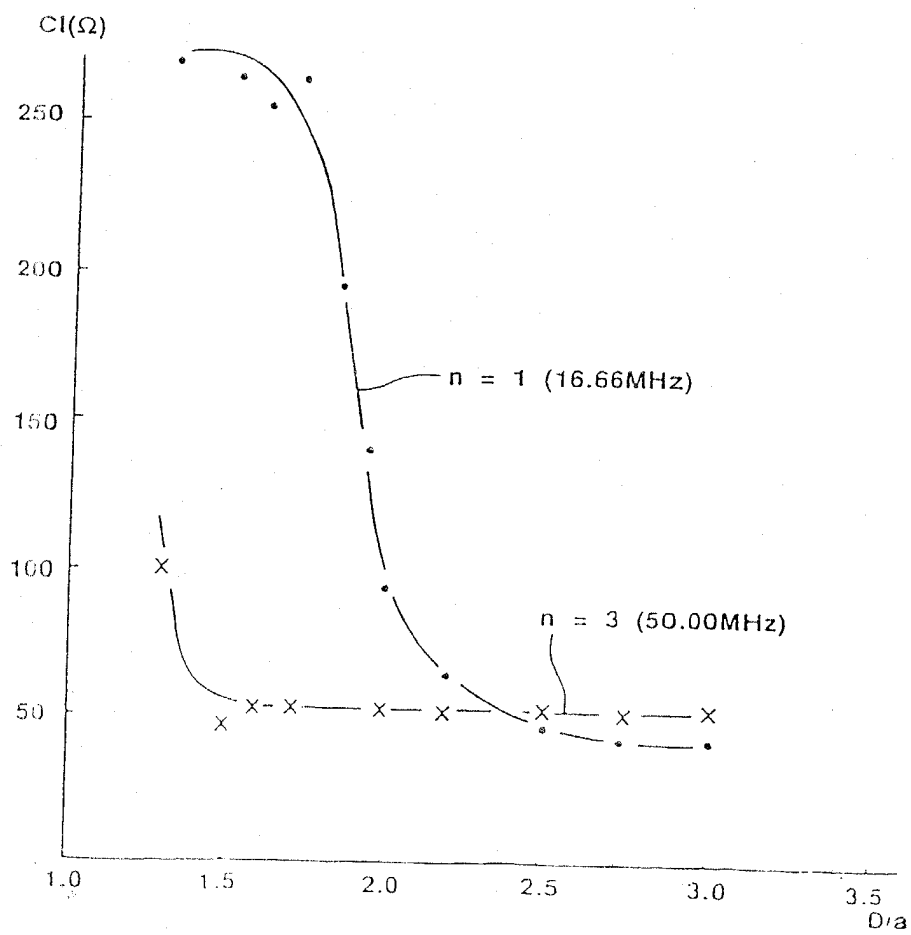
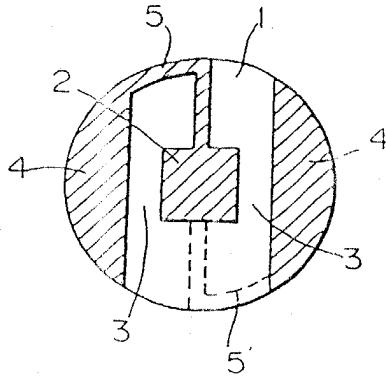
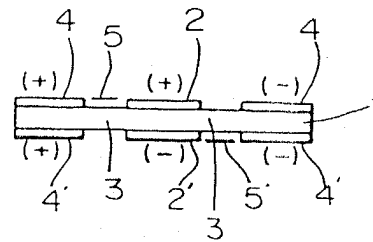
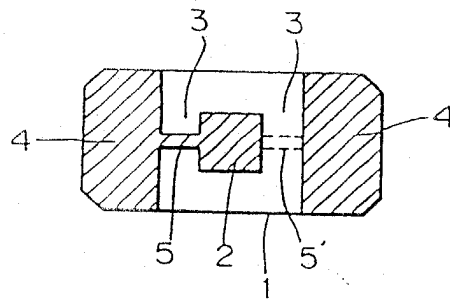
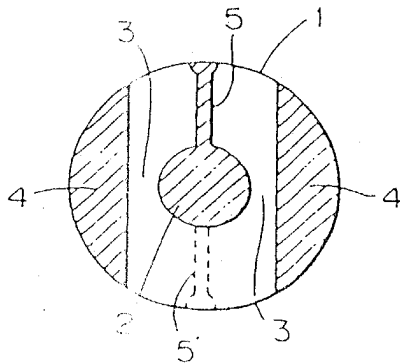
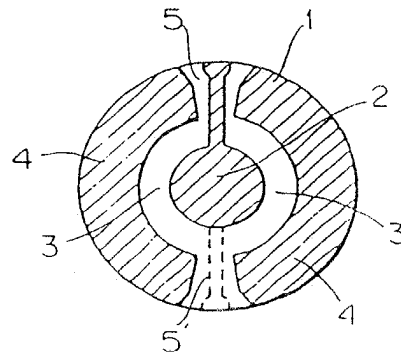
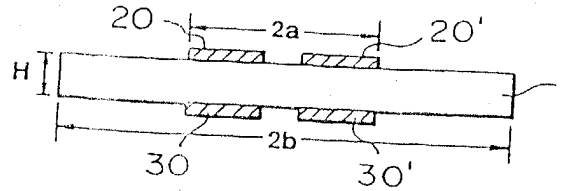
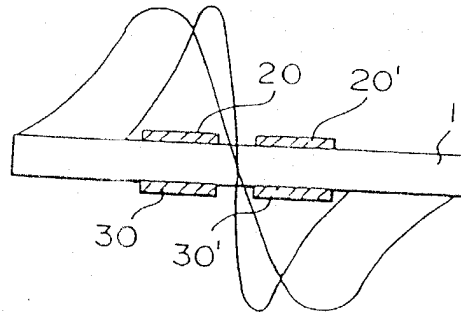
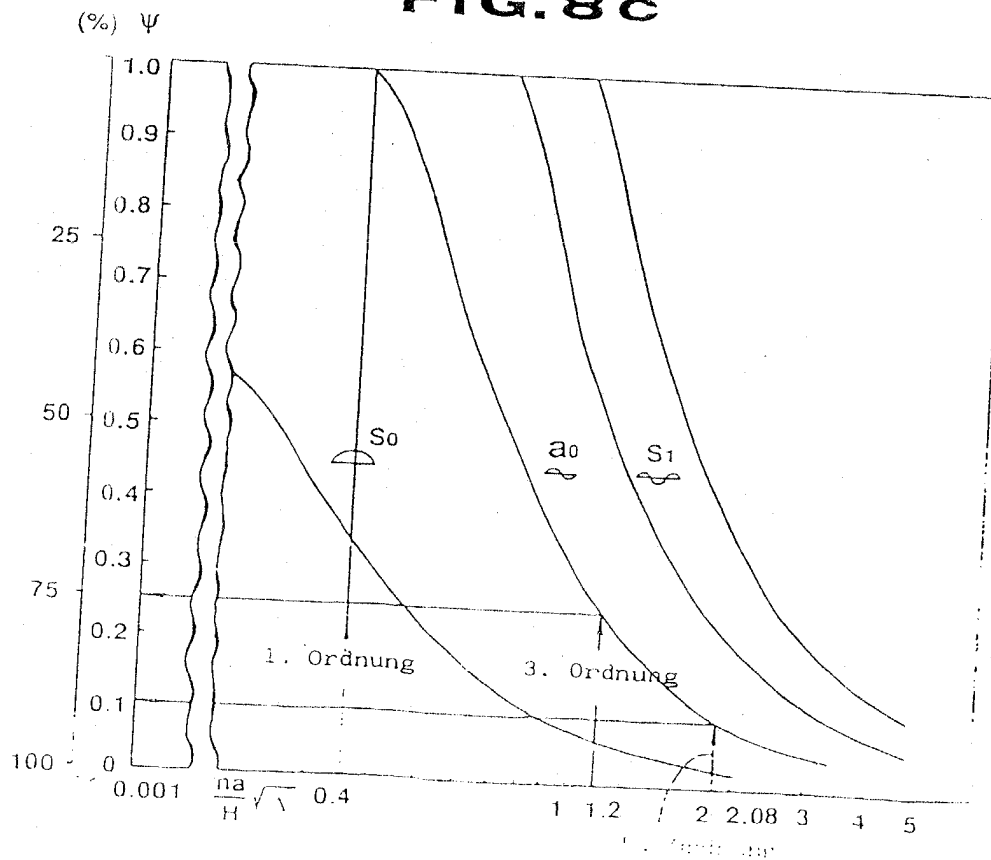


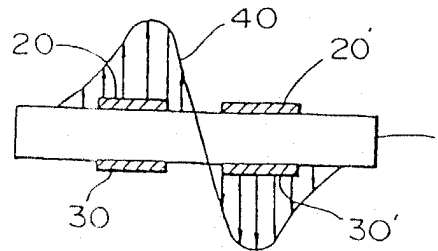
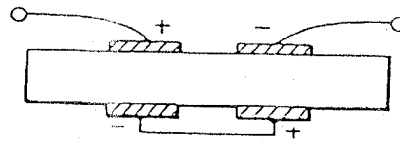
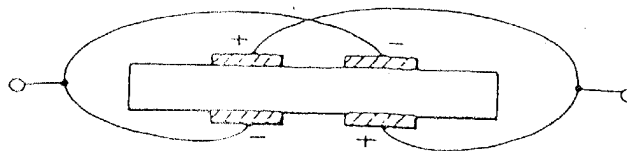
FIG. 2b

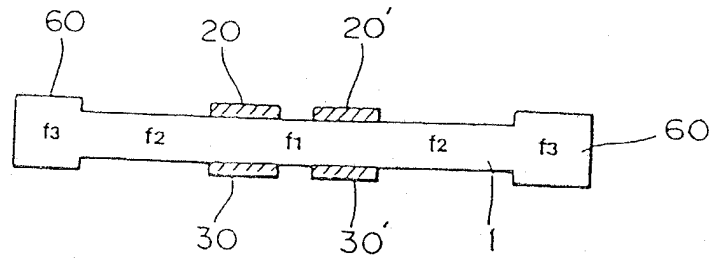
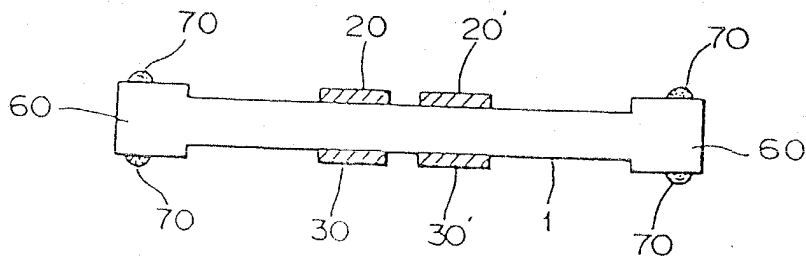
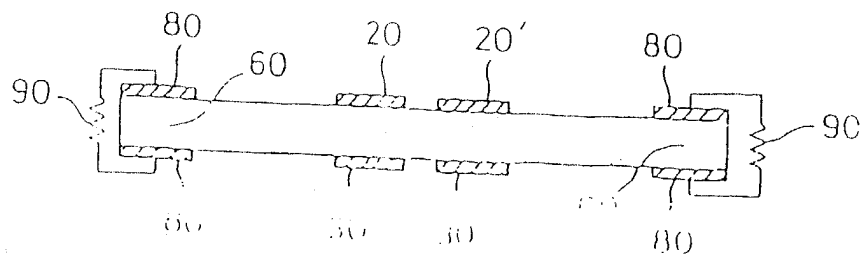


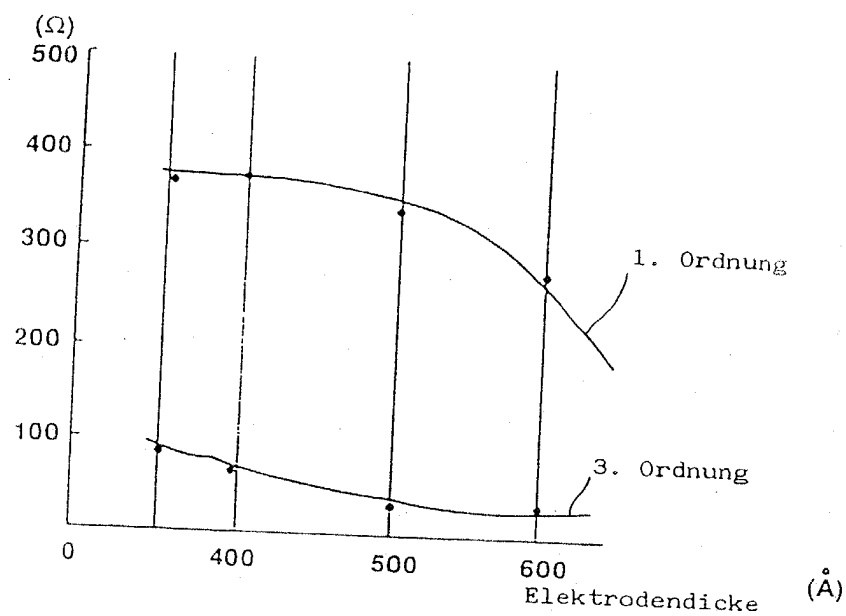
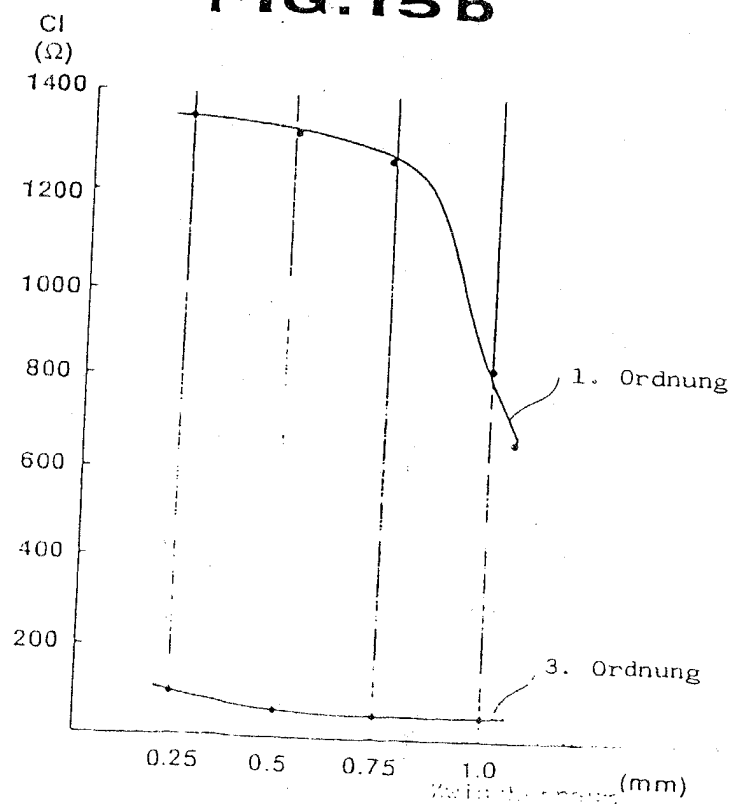
**FIG. 4a****FIG. 4b**

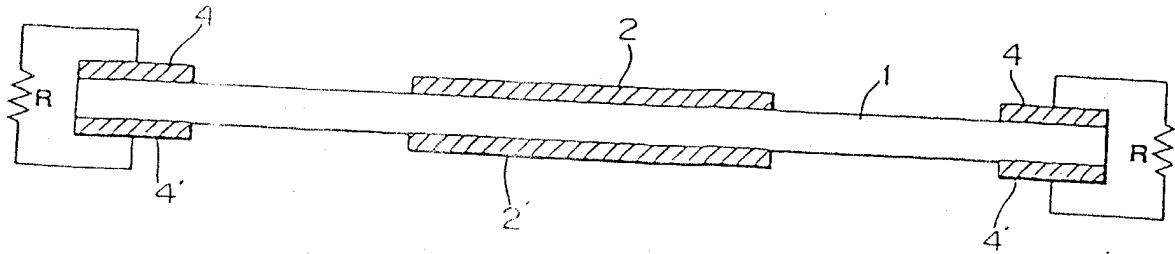
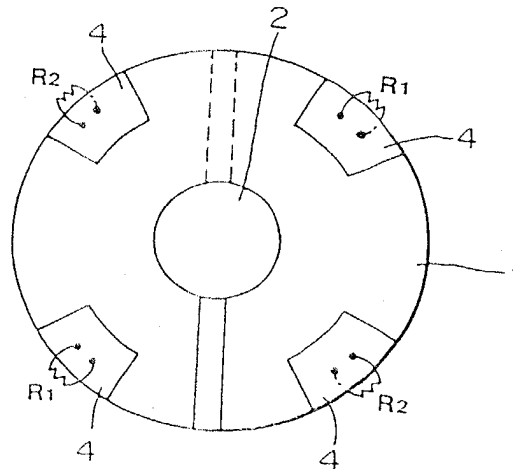
**FIG. 6a****FIG. 6b****FIG. 6c****FIG. 6d****FIG. 6e**

**FIG. 8a****FIG. 8b****FIG. 8c**

**FIG. 10 a****FIG. 10 b****FIG. 10 c**

**FIG.13a****FIG.13b****FIG.13c**

**FIG.15a****FIG.15b**

**FIG. 17****FIG. 18**

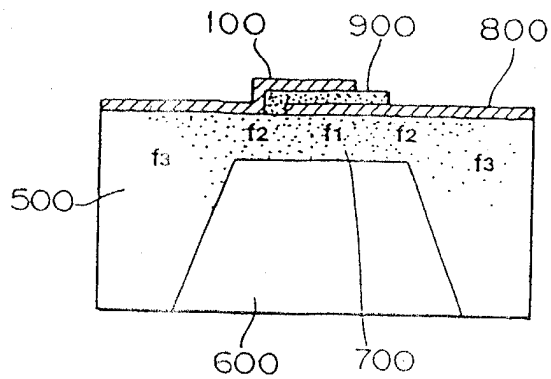
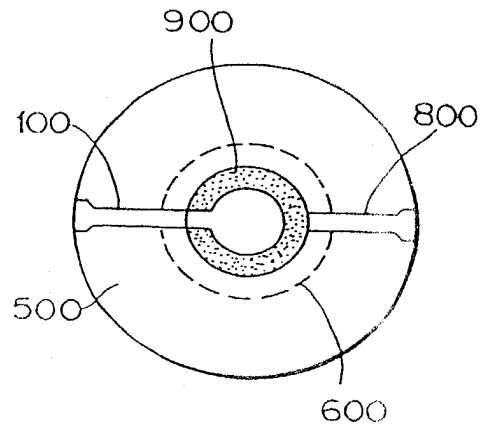
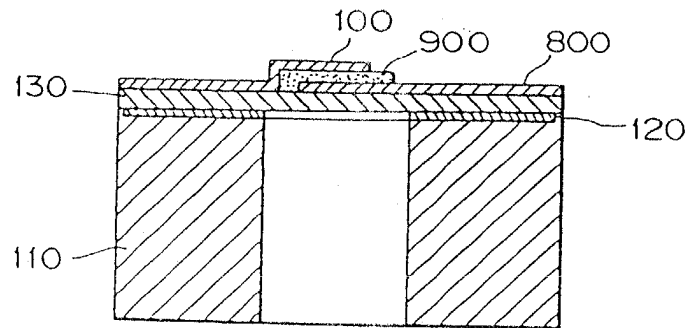
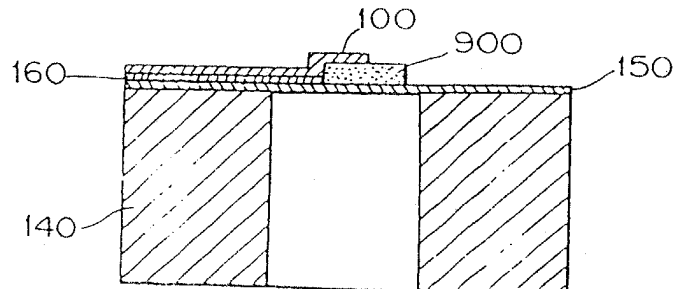
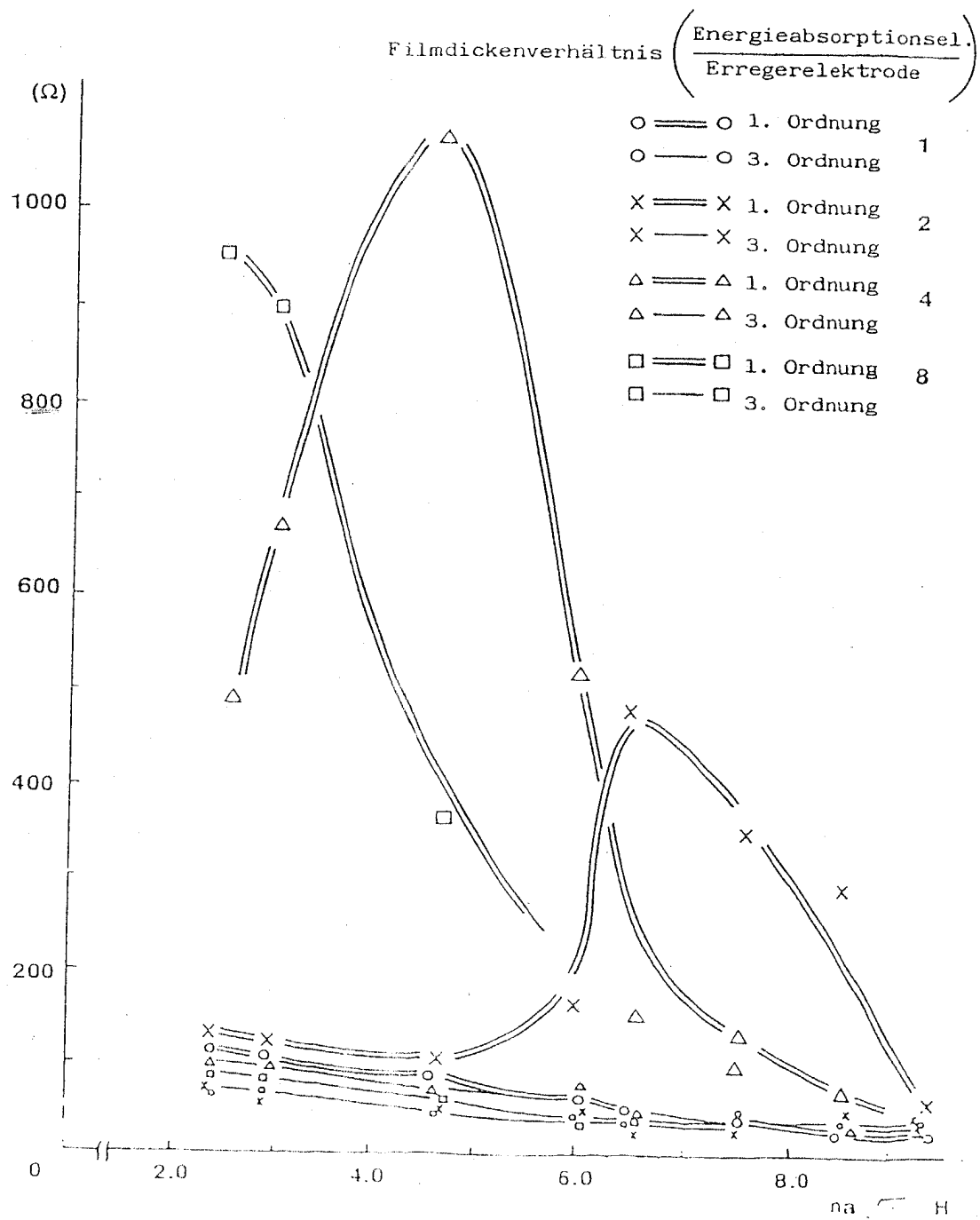
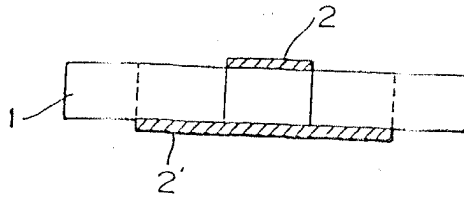
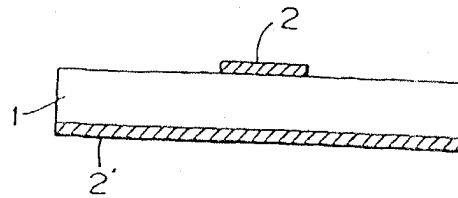
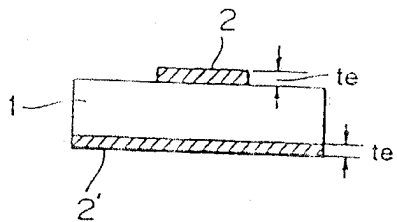
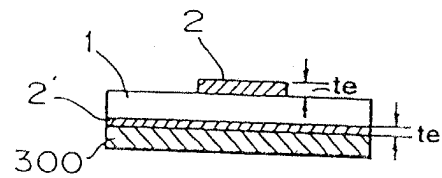
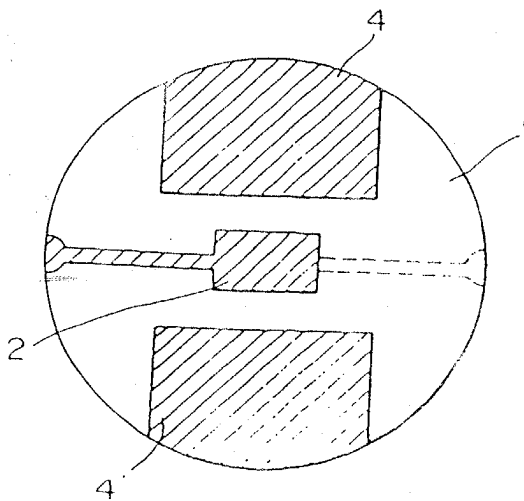
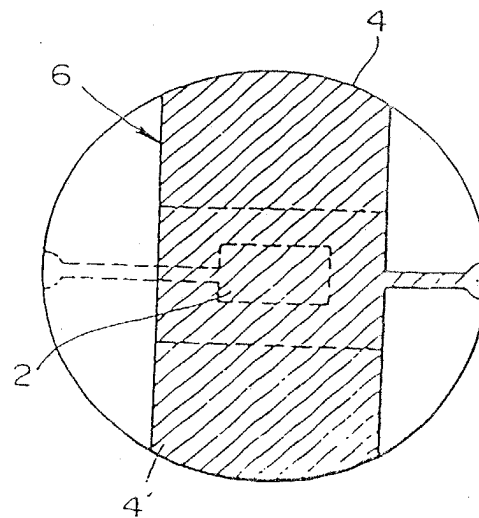
**FIG. 21a****FIG. 21b****FIG. 22****FIG. 23**

FIG. 26



**FIG. 28a****FIG. 28b****FIG. 29a****FIG. 29b****FIG. 30a****FIG. 30b**

Schwingung, die durch die Obertonvibration einer gegenüber der gewünschten Obertonvibration geringeren Ordnung bewirkt wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

- ein Substrat (130; 150), das den Dünnschichtbereich bildet, und der Vibrationsmediumblock (110; 140) miteinander verbondet sind, und
  - das Verhältnis zwischen den Grenzfrequenzen ( $f_1, f_2, f_3$ ) des Vibrationsenergieeinfangbereichs, des Vibrationsenergieausbreitungsbereichs und des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs  $f_3 < f_1 < f_2$  ist.
2. Resonator nach Anspruch 1, bei dem der Vibrationsmediumblock aus Silizium besteht.
  3. Resonator nach Anspruch 1, bei dem der Vibrationsmediumblock (110) aus Quarzkristall oder Glas besteht und ein Quarzkristall- oder Glassubstrat (130) über eine in einem vorbestimmten Bereich des Vibrationsmediumblocks (110) vorgesehene Öffnung mit einem Verbindungsmittel angebracht ist und das Substrat auf eine vorbestimmte Dicke abgetragen ist.
  4. Resonator nach Anspruch 1, bei dem der Vibrationsmediumblock (140) aus Metall besteht, und ein aus dem gleichen Metall bestehendes Substrat (150) an einer in einem vorbestimmten Bereich des Vibrationsmediumblocks (140) ausgebildeten Öffnung angeschweißt ist und das Substrat (150) auf eine vorbestimmte Dicke abgetragen ist.
  5. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das piezoelektrische Material (900) ZnO, AlN und CdS aufweist.

daß der Oszillationsschaltung eine spezifische Schaltung, beispielsweise eine LC-Abstimmungsschaltung, hinzugefügt werden muß. Der erfindungsgemäße Resonator kann daher als Frequenzquelle für verschiedenartige elektronische Geräte und Vorrichtungen verwendet werden, die mit hohen Frequenzen betrieben werden und als integrierte Schaltungen höherer Dichte ausgebildet werden sollen.

Bei einem herkömmlichen piezoelektrischen Resonator, insbesondere bei einem Resonator vom Dickenvibrationstyp wie einem geschnittenen AT-Quarz-Resonator mit exzellenter Temperaturcharakteristik, wird, wenn eine hohe Frequenz bei der Grundwellenvibration erhalten werden soll, die Dicke des piezoelektrischen Substrats extrem gering, so daß die Herstellung schwierig wird. Gemäß der in Patentanspruch 1 definierten Erfindung kann der Resonator jedoch leicht mit einer Oberschwingung erregt werden, so daß die Dicke des piezoelektrischen Substrats in einem leicht herstellbaren Bereich gewählt werden kann, wodurch die Herstellungskosten verringert werden.

gung absorbiert und verbraucht, wodurch das Schwingen mit der gewünschten Frequenz verhindert wird. Wenn sich die Position der zur Frequenzjustierung aufgebrachten zusätzlichen Aufdampfung auf die Erregerelektrode 2 verändert, tritt daher ein erhebliches Problem auf.

Das beschriebene Problem kann eliminiert werden und die Einstellschritte können vereinfacht werden, indem eine hintere Elektrode 6 auf der Rückseite des Substrats angeordnet wird, die sowohl die Erregerelektrode 2 und die Vibrationsenergieabsorptionsbereiche 4 bedeckt, wie in Fig. 30b gezeigt.

Da der Oberschwingungsresonator zur Erzeugung einer Oberschwingung (einer Hochfrequenzschwingung) durch Verwendung der inhärenten Charakteristik des Resonators ohne Verwendung spezieller Einrichtungen, beispielsweise einer LC-Abstimmerschaltung, konstruiert ist, stellt die Tatsache, daß die Grundfrequenz des Vibrators hoch ist, eine erwünschte Eigenschaft dar. Wenn daher die gerade beschriebene Elektrodenstruktur auf diesen Oberschwingungsresonator angewendet wird, kann nicht nur das beim Einstellen der Resonatorcharakteristik auftretende Problem gelöst, sondern auch die Resonanzfrequenz des Resonators erhöht werden, was extrem vorteilhaft ist.

Bei einem Resonator mit einer einzigen Erregerelektrode 2 ist es erforderlich, eine Leiterstruktur 5 herauszuführen, egal ob die hintere Elektrode 2' eine kleine Fläche (Fig. 31a) oder eine die gesamte Rückseite bedeckende große Fläche (Fig. 31b) aufweist. Jedoch bewirkt die relative Größe der hinteren Elektrode 2' und der Leiterstruktur 5 ein Ungleichgewicht in der mechanischen Vibration des piezoelektrischen Substrats. Um dieses Ungleichgewicht aufzuheben, ist eine Gleichgewichtsstruktur 5a, die als Gegengewicht dient, an einen geeigneten Bereich der Erregerelektrode angefügt.

Wie sich aus der Definition des Empfangkoeffizienten ergibt, wird die Elektrodenfilmdicke mit zunehmender Resonanzfrequenz dünner. Daher ist bei dem bekannten Resonator der dünne Elektrodenfilm in gleiche Abschnitte auf der Vorder- und der Rückseite geteilt, wobei die jeweiligen Abschnitte unter den Gesichtspunkt der elektrischen Leitfähigkeit nicht als Elektroden wirken können. Wie bekannt, sollte die Dicke des Elektrodenfilms unter Gesichtspunkten der elektrischen Leitfähigkeit größer als  $350\text{\AA}$  sein, egal welche Art von Material verwendet wird.

Angenommen, die Filmdicke der Oberflächenelektrode, die die Resonatorcharakteristik bestimmt, beispielsweise die Frequenz der Erzeugung der Zusatzresonanzen, ist nahe der Grenze der Elektrodendicke gewählt, beispielsweise um  $400\text{\AA}$ , so bestimmt diese Dicke die Obergrenze der Resonanzfrequenz, die im Design möglich ist.

Da die Filmdicke der großflächigen Elektrode, die die gesamte Rückseite bedeckt, keinen Einfluß auf solche Charakteristiken wie die Zusatz-Resonanz hat, kann die Filmdicke ausschließlich zur Bestimmung der Frequenz verwendet werden. Aus diesem Grund kann die Dicke der vorderen und der hinteren Elektrode  $400\text{\AA}$  und mehr betragen. Dies ermöglicht die Realisierung eines piezoelektrischen Resonators mit einer hohen Resonanzfrequenz, was in der Vergangenheit unmöglich war.

Ein versuchsweise hergestellter geschnittener AT-Quarz-Resonator wurde mit einem Substratdurchmesser von 5 mm, einer Substratdicke von  $19\mu\text{m}$ , einem Durchmesser der vorderen und hinteren Elektrode von 3 mm, einer Filmdicke von  $700\text{\AA}$ , einem Durchmesser der Oberflächenelektrode von 1,4 mm, einer Filmdicke von  $500\text{\AA}$  und einer Resonanzfrequenz von 88 MHz ausgebildet. Ein Problem bezüglich der Zusatz-Resonanz wurde nicht festgestellt.

fache. Selbst wenn unerwünschte Resonanzen erzeugt werden, ist es möglich, diese auf ein extrem niedriges Maß zu reduzieren, so daß keine Probleme entstehen. Fig. 28b zeigt einen Aufbau, bei dem die hintere Elektrode 2' erweitert ist, um die gesamte Rückseite des piezoelektrischen Substrats zu bedecken. Dieser Aufbau weist den gleichen Vorteil auf, wie das in Fig. 28a dargestellte Ausführungsbeispiel. Da jedoch die Position der bei der Herstellung des Resonators verwendeten Aufdampfungsmaske ungenau sein kann, ist der in Fig. 28b dargestellte Aufbau unter Herstellungsgesichtspunkten vorteilhaft.

Der piezoelektrische Resonator mit der zuvor beschriebenen Elektrodenanordnung ist für den folgenden Verwendungszweck vorteilhaft.

Es ist unvermeidbar, daß die Dicke eines piezoelektrischen Substrats während der Herstellungsschritte mehr oder weniger variiert. In einem solchen Fall wird bei dem herkömmlichen Resonator die Resonanzfrequenz angeglichen, indem ein zusätzlicher aufgedampfter Film auf der Oberflächenelektrode aufgebracht wird. Diese Maßnahme kann Schwankungen in der Resonanzfrequenz eliminieren, aber da die Werte der Anodenrückkopplung unterschiedlich sind, ist auch die Menge der eingefangenen Vibrationsenergie verschieden. Demzufolge weisen jeweilige Resonatoren unterschiedliche Zustände des Auftretens unerwünschter Resonanz auf.

Wenn dieser Elektrodenaufbau auf einen solchen Fall angewendet wird, ergibt sich der in den Fign. 29a und 29b gezeigte Effekt.

Genauer gesagt: wenn ein zusätzlicher aufgedampfter Film 300 auf die gesamte Oberfläche der hinteren Elektrode 2', die die gesamte Rückseite bedeckt, aufgebracht wird, wie in Fig. 29b dargestellt, um die Resonanzfrequenz an diejenige der Fig. 29a anzugleichen, nimmt die Gesamtdicke des piezoelektrischen Substrats 1 zu, so daß ein Effekt erreicht wird, der zu demjenigen äquivalent ist, der erreicht wird, wenn die

Oberschwingung der geringeren Ordnung, welche die zu unterdrückende Grundwellenschwingung einschließt, zu erreichen, wodurch eine stabile Schwingung mit einer gewünschte Frequenz verhindert wird.

Wenn ein piezoelektrischer Oberschwingungsresonator nach Fig. 3a ausgebildet wird, ist es wesentlich, die Beziehung zwischen einem Filmdickenverhältnis, bei der der CI-Wert einer Oberschwingung einer Ordnung, bei der die Vibration gewünscht ist, extrem niedrig ist, während der CI-Wert der Oberschwingung einer geringeren Ordnung, einschließlich der Grundwellenschwingung, extrem hoch ist, und dem Wert des Einfangkoeffizienten unter Berücksichtigung des zuvor beschriebenen Versuchsergebnisses zu wählen.

Das in Fig. 26 dargestellte Versuchsergebnis zeigt, daß für den Oberschwingungsresonator der dritten Ordnung optimale Parameter erreicht werden können, wenn das Filmdickenverhältnis des Energieabsorptionsbereichs zur Erregerelektrode mit 4 gewählt ist, und der Einfangkoeffizient  $n\sqrt{\Delta}/H$  mit ungefähr 4,5 gewählt ist.

Zur Verringerung der Grenzfrequenz des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs ist es nicht nur möglich, lediglich die Aufdampfungszeit eines Leiters auf den Bereich zu verlängern, und zur Erzeugung einer Differenz zwischen den Grenzfrequenzen eine Ausnehmung in einem Mittelbereich des piezoelektrischen Substrats 1 auszubilden, wie in den Fign. 27a bis 27c dargestellt. Alternativ kann ferner, wie in Fig. 27a gezeigt, das selbe Material  $a''$  wie die Elektrode auf den derart gebildeten Vibrationsenergieabsorptionsbereich 400 aufgedampft werden. Die Grenzfrequenz kann verringert werden, indem ein aufgedampftes Material mit einem höheren spezifischen Gewicht als das der Elektroden 2 und 2' verwendet wird (Fig. 27b).

Ferner reicht es bei extrem dünn ausgebildeten, zum Anbringen der Elektroden vorgesehenen Bereichen des piezoelektrischen Substrats zum Zwecke des Erreichens einer

Alternativ ist, gemäß einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung, eine Öffnung durch den Mittelbereich eines Metallblocks 140 ausgebildet, wie in Fig. 23 dargestellt, und eine Metallplatte 150 des selben Materials ist mit einer Fläche des Metallblocks 140 verschweißt. Sodann wird die Metallplatte 150 auf eine gewünschte Dicke geläppt, wodurch ein Vibrationsbereich gebildet wird. Bei Verwendung eines solchen Vibrationsbereichs als Vibrationsbereich kann dieser als untere Elektrode dienen, das piezoelektrische Substrat kann direkt auf die dünne Metallplatte 150 gesputtert werden, und ein Isolierfilm 160 wird lediglich auf die Leiterstruktur der oberen Elektrode aufgebracht, die an dem piezoelektrischen Bereich 900 angebracht ist. Anschließend wird die Leiterstruktur ausgebildet.

Neben  $\text{ZnO}$  können als piezoelektrisches Material auch  $\text{AlN}$  und  $\text{CdS}$  verwendet werden, und als Verfahren zum Aufbringen des piezoelektrischen Materials können andere Verfahren als Sputtern eingesetzt werden. Da das Sputter-Verfahren zur Erstellung extrem dünner piezoelektrischer Schichten am geeignetsten ist, genügt dieses Verfahren der Aufgabe der vorliegenden Erfindung, nämlich der Schaffung eines Resonators mit extrem hoher Frequenz. In diesem Fall ist der Vibrationsmodus auf die Dickenlängsvibration beschränkt, da der Kristall im allgemeinen in axialer Richtung wächst.

Bei diesem Ausführungsbeispiel können ebenfalls ein Dickengleitmodus oder ein Dickenverdrehungsmodus verwendet werden.

Bei dem in Fig. 3a dargestellten Vibrationsenergieabsorptionsbereich 4 ist der Verbrauch der Oberschwingungsenergie einer Ordnung, die niedriger als diejenige der gewünschten Oberschwingung ist, nach der Umwandlung in Wärme nicht ausreichend, da die Impedanz bei einer entsprechenden Frequenz nicht genug ansteigt. Eine gewünschte Oberschwingung kann daher im Hinblick auf die negative Widerstandscharakteristik der Oszillationsschaltung unmöglich werden, wie in Fig. 24 dargestellt.

In diesem Fall sollte darauf geachtet werden, keinen Kurzschluß zwischen der vorderen und der hinteren Elektrode 4 und 4' durch das elektrisch leitfähige Bonding-Mittel 7 zu erzeugen.

Durch Aufbringen eines Bonding-Mittels 8 mit einem gewünschten Widerstandswert auf geeignete Bereiche der Elektroden 4 und 4' kann die Absorption der unerwünschten Vibrationsenergie erhöht werden.

Als das Bonding-Mittel 8 kann ein Epoxidharz mit einer kontrollierten Menge dispergierter Kohlestoffpartikel verwendet werden.

Wenn die Vibrationsenergien mehrerer Wellenbewegungen absorbiert werden sollen, sind die Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und die Umfangsfläche des Substrats geteilt, wie in Fig. 20 dargestellt, und die geteilten Elektroden 9 und 10 sind mit der Vorder- und der Rückseite durch das zuvor beschriebene widerstandsfähige Bonding-Mittel 8 verbondet. Selbstverständlich sollte der Widerstandswert des Bonding-Mittels der Frequenz der Wellenbewegungen entsprechen, deren Vibrationsenergien zu absorbieren sind.

Fig. 21a und 21b zeigen einen anderen Resonator zur Verwendung in einem GHz-Band, der ein Verbundmaterial verwendet. Wie dargestellt, wird eine Fläche eines Siliziumblocks 500 mit Bor (B) dotiert und eine Ausnehmung 600 mit einem gewünschten Durchmesser wird durch Ätzen auf der gegenüberliegenden Fläche ausgebildet.

Sodann verbleibt eine flache Dünnschicht 700 mit einer Dicke, die gleich derjenigen der mit Bor dotierten Schicht ist, und die nicht geätzt werden kann. Anschließend werden eine untere Elektrode 800 und die zugehörige Leiterelektrode durch Aufdampfen ausgebildet. Danach wird  $\text{ZnO}_2$  mit einer gewünschten Dicke aufgesputtert

Obwohl die Vibrationsenergieabsorptionsbereiche in Fig. 14b in Z-Richtung vorgesehen sind, können diese Bereiche in X-Richtung oder um im wesentlichen den gesamten Umfang des Substrats vorgesehen sein, oder die Bereiche können in mehrere Abschnitte unterteilt werden. Die Vibrationsenergieabsorptionsbereiche sind um so effizienter, je größer ihre den Umfang des Substrats bedeckende Fläche ist.

Die Erfindung ist nicht auf eine Dickenverwindungsvibration, wie in den Fign. 14a und 14b dargestellt, beschränkt, sondern ist auch auf Dicken-Längs- und Dicken-Gleitvibrationen anwendbar. Darüber hinaus können verschieden Arten piezoelektrischen Materials verwendet werden.

Obwohl dies in den Zeichnungen nicht dargestellt ist, kann der Resonator ein Dual-Port-Resonator mit drei Elektrodenanschlüssen sein. Dieser Aufbau erleichtert das Vibrieren in Hochfrequenzbändern. Bei Anwendung der Erfindung auf ein monolithisches Kristallfilter kann eine Filtercharakteristik mit einer geringen unerwünschten Resonanz über einen breiten Frequenzbereich erwartet werden.

Fig. 17 zeigt einen weiteren Resonator, bei dem Widerstände  $R$  mit geeigneten Werten über Elektroden 4 und 4' auf beiden Flächen der Energieabsorptionsbereiche nahe dem Außenrand des piezoelektrischen Substrats angeordnet sind.

Bei dieser Modifikation breitet sich die Vibrationsenergie einer Ordnung, die geringer als die gewünschte Oberschwingungsordnung ist, zu den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen aus, erregt das piezoelektrische Substrat 1 an den Vibrationsabsorptionsbereichen, und die in den Elektroden 4 und 4' erzeugte elektrische Ladung wird durch die Widerstände  $R$  in Wärmeenergie umgewandelt und anschließend verbraucht, wodurch die Impedanz für die Vibrationen der Oberschwingungen geringerer Ordnungen, einschließlich der Grundwellenvibration, ausreichend steigt.

Mittels aufgebracht, verändern sich diese Werte zu  $72\Omega$  bzw.  $380\Omega$ , wodurch die Richtigkeit der Theorie bestätigt ist.

Die CI-Werte der Oberschwingungsfrequenzen der dritten Ordnung und der ersten Ordnung (Grundwelle) betragen  $65\Omega$  bzw.  $250\Omega$ . Wird ein elektrisch leitfähiges Bonding-Mittel auf den Halter des Quarz-Substrats aufgebracht, verändern sich diese Werte zu  $65\Omega$  bzw.  $133\Omega$ , wodurch die Wirksamkeit des Vibrationsenergieabsorptionsbereichs bestätigt ist.

Wenn bei dem in Fig. 14a dargestellten Resonator der Quarz-Substrathalter durch das elektrisch leitfähige Bonding-Mittel befestigt ist und die Elektrodenfilmdicke verändert wird, nimmt die Differenz der CI-Werte bei den Oberschwingungsfrequenzen der dritten und der ersten Ordnung wie in Fig. 15a dargestellt ab.

Das bedeutet, daß bei dem Aufbau gemäß Fig. 12a bei einer Veränderung von  $\Delta$  in Abhängigkeit von der Elektrodenfilmdicke und bei eingefangene Oberschwingung der ersten und der dritten Ordnung die Differenz zwischen den CI-Werten abnimmt. Es ist daher ersichtlich, daß verschiedene Parameter, einschließlich der Elektrodenfilmdicke, derart eingestellt werden müssen, daß eine ausreichend große Differenz zwischen den CI-Werten beibehalten wird.

Fig. 15b zeigt die Veränderung der CI-Werte bei den Oberschwingungsfrequenzen der ersten und der dritten Ordnung, wobei der Zwischenraum zwischen der Erreger Elektrode und dem Energieabsorptionsbereich eines mit den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen von Fig. 14b versehenen Resonators verändert wird.

Es ist erkennbar, daß mit der Vergrößerung des Zwischenraums die austretende Vibrationsenergie der Frequenz der ersten Ordnung (Grundwelle) nicht ausreichend von

ausbreitet, wobei sich die Leckenergie ohne Verlust durch Bereiche mit einer hohen Grenzfrequenz ausbreitet, so daß sie durch einen Resonatorträger heraus leckt, der wie beschrieben am Ende des piezoelektrischen Substrats angebracht ist.

Es ist jedoch sehr wichtig, die Leckenergie wirksam zu verbrauchen, um den äquivalenten Widerstand der Vibration zu erhöhen. Zu diesem Zweck sind an einem Teil des Randbereichs oder dem gesamten Randbereich des piezoelektrischen Substrats 1 mehrere Vibrationsenergieabsorptionsbereiche 60 mit einer extrem geringen Grenzfrequenz  $f_3$  vorgesehen, wie in Fig. 13a dargestellt. Bei diesem Aufbau wird die Amplitude der leckenden Vibrationsenergie an diesem Bereich erhöht, an dem die Vibrationsenergie in thermische Energie umgewandelt wird, welche dort verbraucht wird. Die Energieabsorptionsbereiche 60 können entweder durch Verdicken des piezoelektrischen Substrats 1 oder durch Anbringen eines Leitfilms oder eines Harzfilms einer geeigneten Masse gebildet werden. Alternativ kann, wie in Fig. 13b gezeigt, eine Masse, beispielsweise ein Klebemittel 70, an der Außenfläche angebracht werden.

Obwohl die Grenzfrequenz  $f_3$  der Energieabsorptionsbereiche 60 gleich oder geringer als  $f_3$  sein kann, wird bevorzugt, diese zu erhöhen oder zu verringern, um den Verbrauch der unerwünschten Vibrationsenergie in diesem Bereich zu maximieren.

Um die Leckenergie sicher zu verbrauchen, können ferner Leiterfilme 80 an geeigneten Stellen auf der Vorder- und der Rückseite des Randbereichs des piezoelektrischen Substrats 1 angebracht werden, wobei Widerstände 9 zur Verbindung zwischen diesen vorgesehen sind, wie in Fig. 13c dargestellt. Der Widerstandswert  $r$  der Widerstände kann grundsätzlich wie folgt bestimmt werden:

$$r = (2\pi f_n C_o)^{-1}$$

wobei  $f_n$ : Frequenz der in Wärme umzuwandelnden Vibration

$C_o$ : Kapazität zwischen den Leiterfilmen auf der Vorder- und der Rückseite.

asymmetrischen Vibration ( $a_1, a_2, \dots$ ) höherer Ordnung oder einer symmetrischen Vibration ( $S_1, S_2, \dots$ ) höherer Ordnung.

Nachdem die Beschreibung des Grundkonzepts der Resonatoren beendet ist, werden im folgenden die Einzelheiten der konkreten Elektrodenverbindung und der Verdrahtung beschrieben, die zur Herstellung eines Resonators erforderlich sind.

Eine Elektrode eines herkömmlichen Resonators muß zum wirksamen Ableiten der durch die Verschiebung des piezoelektrischen Substrats erzeugten Ladung angeordnet sein. Demzufolge ist es auch bei dem erfindungsgemäßen Resonator erforderlich, die Zahl und die Positionen der Höhen und der Tiefen der Ladung, die durch den verwendeten Vibrationsmodus erzeugt werden, mit denen der geteilten Elektrode in Übereinstimmung zu bringen, und eine Verbindung zu schaffen, bei der die an jeweiligen Elektroden erzeugten Ladungen einander nicht egalisieren.

Soll die asymmetrische ( $a_0$ ) Vibration der geringsten Ordnung verwendet werden, wie in Fig. 10a dargestellt, werden an der Vorder- und der Rückseite des piezoelektrischen Substrats 1 geteilte Elektroden 20, 20' und 30, 30' angebracht, um elektrische Ladung mit einem Pegel gemäß Fig. 10b zu erzeugen, und die Elektroden werden, wie in Fig. 10b dargestellt, in Reihe oder, wie in Fig. 10c dargestellt, parallel verbunden. Da die Impedanz der Parallelschaltung  $1/4$  derjenigen der Reihenschaltung beträgt, wird die Parallelschaltung bevorzugt, wenn eine Verringerung des Parallelwiderstands erwünscht ist.

Im folgenden soll die unerwünschte Resonanz eines Resonators mit einer geteilten Elektrode betrachtet werden. Ist der verwendete Vibrationsmodus ein symmetrischer Modus ( $S_1, S_2, \dots$ ) höherer Ordnung, wird ein elektrisch asymmetrischer Modus ( $a_0, a_1, a_2, \dots$ ) nicht erregt, während bei Verwendung einer Vibration eines asymmetrischen

infolge einer akustischen Kopplung der asymmetrischen Vibration mit der symmetrischen Vibration, die gleichzeitig erregt werden, zwei Arten von verschiedenen Vibrationsfrequenzen erzeugt. Bei dem Resonator gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel jedoch reicht es aus, eine der Frequenzen abzuleiten, das heißt, bei diesem Beispiel, nur die Resonanzfrequenz der asymmetrischen Vibration, so daß keine Probleme auftreten.

Wenn erwünscht ist, die Vibration des höheren Modus, beispielsweise des Modus  $S_1$  oder  $a_1$ , zu verwenden, wird jede Elektrode in drei oder vier Abschnitte unterteilt. In diesem Fall wird, wie in der Fig. 2b dargestellt, der Gradient jedes Modus-Frequenzspektrums steiler, je höher die Ordnung wird, so daß dies vorteilhaft ist, da es möglich ist, den Unterschied in den Prozentsätzen des Einfangens der Oberschwingungsenergie der  $n$ -ten Ordnung und diejenige der Ordnung, die kleiner als die  $(n-2)$ te Ordnung ist, groß einzustellen.

Genauer gesagt verringert sich im allgemeinen die Verstärkungsleistung des Verstärkers mit zunehmender Frequenz einer Oszillationsschaltung, so daß sich der negative Widerstand der Schaltung in umgekehrter Proportion zum Quadrat der Frequenz verändert. Daher ist es nicht immer wahr, daß die Vibration mit einer Oberschwingungsfrequenz, bei der die Resonatorimpedanz von der Oszillationsschaltung aus gesehen minimal wird, die einfachste ist.

Wenn beispielsweise, wie in Fig. 8c dargestellt, zum Zweck der Herstellung des Oberschwingungsresonators fünfter Ordnung durch Verwenden der asymmetrischen ( $a_0$ ) Vibration der geringsten Ordnung die Parameter derart gewählt werden, daß die Prozentsätze des Einfangens der Vibrationsenergien der ersten Ordnung (Grundwellenvibration) und der Oberschwingung dritter Ordnung jeweils null sind, wie in Fig. 9 gezeigt, wird der Prozentsatz des Einfangens der Vibrationsenergie der Oberschwingung fünfter Ordnung nicht ausreichend groß, mit dem Ergebnis, daß ein Fall eintreten

Quarz-Substrat (AT, geschnitten)	Durchm. 7 mm
Vibrationsfrequenz (Oberschwingungsordnung)	50 MHz (dritte Ordnung)
Vibrationseinfangbereich	
Goldelektrode, Filmdicke	350 Å
Elektrodengröße	2 mm x 2 mm
Zwischenraum zwischen der Vibrationseinfang- elektrode und der Absorptionselektrode	0,5 mm
Anordnungsrichtung der Vibrationsenergie- absorptionselektrode	Z'-Richtung

Bei diesem Resonator betragen die CI-Werte der Grundwellenvibration und der Oberschwingung dritter Ordnung  $150\Omega$  bzw.  $520\Omega$ , während der CI-Wert nach dem Verbonden des Leitungsdrahtes mit dem Resonator unter Verwendung eines elektrisch leitfähigen Bonding-Mittels  $280\Omega$  bzw.  $53\Omega$  beträgt, wodurch die Richtigkeit der Theorie bewiesen ist.

Die Fig. 8a bis 8c sind Schnittdarstellungen eines anderen grundsätzlichen Aufbaus eines Resonators, der den asymmetrischen Modus verwendet, und eine Kurve zur Erläuterung der diesbezüglichen Theorie. Wie in Fig. 8a dargestellt, sind auf beiden Flächen des Mittelbereichs des piezoelektrischen Substrats 1 geteilte Elektroden 20, 20' und 30, 30' angebracht. Wenn der Resonator erregt wird, wird eine asymmetrische Vibration ( $a_0$ ) der geringsten Ordnung in starkem Maße erregt.

Wenn die Ordnung der Oberschwingung, bei der der Resonator schwingen soll, mit  $n$  bezeichnet wird, und wobei die Parameter  $a$  und  $\Delta$  derart gewählt sind, daß die Position des Einfangkoeffizienten  $(n-2) a \sqrt{\Delta}/H$  der  $(n-2)$ ten Ordnung, die auf der Abszisse der Fig. 2b dargestellt ist, sich an einer Position befindet, an der der Prozentsatz des Energieeinfangens der  $a_0$ -Modus-Kurve null ist, das heißt eine Position, an der der

werden, so daß die mechanische Festigkeit der Leitungsverbindungen gewährleistet werden kann.

Wie in Fig. 6c dargestellt, kann die sich von den Vibrationsenergieeinfangbereichen erstreckende Leitungsstruktur direkt mit den Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' durch die Vibrationsenergieausbreitungsbereiche 3 und 3' verbunden sein. Bei dieser Struktur hat sich jedoch durch Versuche gezeigt, daß auch die gewünschte Oberschwingungsenergie dazu neigt, geringfügig durch die Leitungsstrukturen 5 und 5' zu lecken. Dieser Aufbau ist jedoch dahingehend vorteilhaft, daß die Leitungsdrähte kurz sind, und nicht nur der Ohm'sche Widerstand verringert werden kann, sondern auch die positionsmäßige Ausrichtung des piezoelektrischen Substrats und einer aufgedampften Struktur nicht genau sein muß.

Ferner ist es nicht immer erforderlich die von den Vibrationsenergieeinfangelektroden 2 und 2' kommenden Leitungsdrähte 5 und 5' mit den Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' zu integrieren, sondern sie können, wie in Fig. 6d gezeigt, voneinander getrennt sein, oder, wie in Fig. 6e gezeigt, können die Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4' derart ausgebildet sein, daß sie die Vibrationsenergieeinfangbereiche 2 und 2' vollständig umschließen. Dieser modifizierte Aufbau erhöht den Verbrauch an Leckenergie, wodurch der äquivalente Widerstand für die Vibration erhöht wird.

Genauer gesagt ist bei den Konstruktionen gemäß den Fign. 7a und 7b der Vibrationsenergieausbreitungsbereich des piezoelektrischen Substrats 1 beispielsweise durch Ätzen auf beiden oder einer Fläche entfernt, um die Grenzfrequenz dieser Bereiche zu erhöhen. Dieser Aufbau verringert die Dicke der angebrachten Elektroden, wodurch nicht nur die Aufdampfungszeit der Elektroden verringert wird, sondern auch ein Abschälen dicker Elektroden verhindert wird.

Wenn die Längen der Vibrationsenergieausbreitungsbereiche 3 und 3' zwischen den Vibrationsenergieeinfangbereichen 2 und 2' und den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen 4 und 4' extrem gering ist, wird ein Teil der eingefangenen Vibrationsenergie von den Vibrationsenergieabsorptionsbereichen verbraucht. Wenn hingegen die Längen zu groß sind, breitet sich die Leckenergie ohne Verlust aus, so daß theoretisch angenommen werden kann, daß die Oszillationsenergieabsorptionselement nicht vorhanden sind, wie zuvor beschrieben.

Daher müssen die Längen optimale Werte haben. Da es jedoch schwierig ist, den Verlust qualitativ zu bestimmen, soll dieser durch Versuche ermittelt werden. Fig. 4b zeigt das Ergebnis von Versuchen, bei denen der Vibrationsenergieausbreitungsbereich bei der Herstellung eines Quarz-Resonators mit einer Oberschwingung der dritten Ordnung (50 MHz) variiert wird. Wenn der in Fig. 4a dargestellte Zwischenraum (D-a) zu klein ist, nimmt die Impedanz für die Vibration der Grundwelle (erste Ordnung) und diejenige für die Oberschwingung dritter Ordnung proportional zu. Wenn hingegen der Zwischenraum zu groß ist, besteht kein Unterschied zwischen der Impedanz für die Oberschwingungen der ersten und der dritten Ordnung. Es hat sich daher gezeigt, daß es vorteilhaft ist, einen Wert von ungefähr 1,5 für das Verhältnis  $D/a$  zu wählen, um so eine Bedingung zu erhalten, unter der die Oberschwingung der dritten Ordnung am leichtesten auftritt.

Genauer gesagt nimmt bei zunehmender Frequenz einer Oszillationsschaltung die Verstärkungsleistung eines Verstärkers ab und der negative Widerstand der Schaltung variiert umgekehrt proportional zum Quadrat der Frequenz. Es ist daher nicht immer richtig, daß die Oszillation mit einer Oberschwingungsfrequenz, bei der die Resonatorimpedanz, von der Oszillationsschaltung aus gesehen, minimal wird, die leichteste ist.

Wenn, wie in Fig. 3b gezeigt, beispielsweise der Prozentsatz T des Einfangens der Vibrationsenergie der Oberschwingung der fünften Ordnung mit einer gewünschten

Wie in Fig. 3a dargestellt, sind Elektroden 2 und 2', die jeweils einen Durchmesser  $2a$  aufweisen, an beiden Flächen des coaxialen Bereichs eines piezoelektrischen Substrats 1 angebracht, das eine Dicke  $H$  aufweist, um die Grenzfrequenz des Mittelbereichs auf  $f_1$  zu verringern, wodurch eine Differenz  $(f_2 - f_1)$  zwischen den Grenzfrequenzen des Mittelbereichs und des umgebenden Bereichs mit der Grenzfrequenz  $f_2$  erreicht wird. Die Bereiche, in denen die Elektroden 2 und 2' angebracht sind, werden als die Vibrationsenergieeinfangbereiche verwendet, und die nicht mit Elektroden versehenen Bereiche 3 und 3' werden als Vibrationsenergieausbreitungsbereich für unerwünschte Vibrationen verwendet. Am Umfang der Bereiche 3 und 3' sind Vibrationsenergieabsorptionselektroden 4 und 4# ausgebildet, die eine Grenzfrequenz  $f_3$  aufweisen (wobei  $f_3 < f_2$ ).

Wird dieser Resonator beispielsweise als Oberschwingungsresonator der fünften Ordnung verwendet, lehrt das vorhergehende Prinzip, daß der Prozentsatz der Vibrationsenergie, die die Oberschwingung der Grundwelle (erste Ordnung) und der dritten Ordnung einfängt, gering sein sollte und daß der Einfangprozentsatz der Oberschwingung der fünften und höherer Ordnung groß sein sollte. Daher ist, wie in Fig. 3b dargestellt, der Prozentsatz  $T_5$  des Einfangens der Vibrationsenergie der Oberschwingung der fünften Ordnung auf beispielsweise ungefähr 80% eingestellt. Wie aus der Fig. 3b ersichtlich beträgt der Einfangkoeffizient  $na\sqrt{\Delta}/H$  bei  $T_5 = 80\%$  ungefähr 0,53. Da  $n$ ,  $H$  und  $f_2$  gegebene Bedingungen sind, ist es in der Gleichung  $na\sqrt{\Delta}/H = na\sqrt{(f_2 - f_1)}/f_2$  einfach, den für  $f_1$  zu wählenden Wert zu berechnen. Wenn  $f_1$  bestimmt ist, kann der in Fig. 3a dargestellte Resonator leicht hergestellt werden, da die Differenz zwischen den Grenzfrequenzen  $(f_2 - f_1)$  eine direkt mit der sogenannten Anodenrückkopplung zusammenhängender Wert ist und die diesem Wert entsprechende Menge der angebrachten Elektrode bereits bekannt ist.

Wenn ein Material mit großen Bonding-Eigenschaften wie Lithium-Niobat, Lithium-Tantalat oder eine piezoelektrische Keramik als das piezoelektrische Substrat verwen-

$$(kH)^2 = (n\pi)^2 \cdot 2 \delta \quad (10)$$

Aus den Gleichungen (6) und (9) ergibt sich

$$(k'H)^2 = (n\pi)^2 \cdot 2(\Delta - \delta) \quad (11)$$

Aus den Gleichungen (10) und (11) ergibt sich

$$k'H/kH = \sqrt{(\Delta - \delta)/\delta} \quad (12)$$

Durch Bezeichnen von  $\delta/\Delta$  mit  $\Psi$  ergibt sich (13)

$$k'/k = \sqrt{(1-\Psi)/\Psi} \quad (14)$$

Ferner ergibt sich aus den Gleichungen (10) und (13)

$$ka = n\pi a\sqrt{2\delta}/H = n\pi a\sqrt{2\Psi\Delta}/H \quad (15)$$

Ferner ergibt sich aus den Gleichungen (11) und (13)

$$k'a = n\pi a\sqrt{2\Delta(1-\Psi)}/H \quad (16)$$

Das Substituieren der Gleichungen (14), (15) und (16) in die Gleichung (7) ergibt die Gleichung

$$\tan h \ n\pi \ a \ \sqrt{2\Delta(1-\Psi)} \times (b/a-1)/H = \sqrt{(1-\Psi)/\Psi_{\text{cot}}^{\text{tan}}} \ n\pi \ a \ \sqrt{2\Psi\Delta}/H \quad (17)$$

$$U_I = B_{sh}^{ch} k' z - C_{ch}^{sh} k' z \quad (-b \leq z \leq -a) \quad (2)$$

$$U_{II} = A_{\sin}^{\cos} k z \quad (-a \leq z \leq a) \quad (3)$$

$$U_{III} = B_{sh}^{ch} k' z + C_{ch}^{sh} k' z \quad (a \leq z \leq b) \quad (4)$$

wobei A, B und C Konstanten sind.

Es sei angenommen, daß  $f_1$  eine natürliche Resonanzfrequenz einer Dickengleitoszillation repräsentiert, wobei angenommen sei, daß der Elektrodenbereich (II) eine unendliche Breite aufweist, und daß  $f_2$  die natürliche Resonanzfrequenz ist, wenn angenommen wird, daß die Bereiche (I) und (III), die nicht mit Elektroden versehen sind, unendliche Breiten haben, so werden die Ausbreitungskonstanten  $k$  und  $k'$  der jeweiligen Bereiche II sowie I und III wie folgt ausgedrückt:

$$k = n\pi \sqrt{(ff_1)^2 - 1/H} \quad (5)$$

$$k' = n\pi \sqrt{1 - (ff_2)^2/H} \quad (6)$$

Wenn jedoch Materialien mit starken Bonding-Eigenschaften, beispielsweise Quarz, als das Oszillationsmedium verwendet wird, wird der durch die piezoelektrische Natur des Materials bewirkte Effekt bemerkbar, so daß, wenn es unmöglich wird  $\Delta$  ausreichend zu verändern, eine Veränderung der Größe  $a$  eines Bereichs mit der Grenzfrequenz  $f_1$  wirksam ist.

(5) Bezüglich der Vibration, deren Energie eingefangen wird, kann gesagt werden, daß mit zunehmender Ordnung der Oberschwingung der äquivalente Widerstand groß wird.

Wie aus Fig. 1b klar ersichtlich wird die Vibrationsenergie in einem Bereich mit einer geringen Grenzfrequenz nicht vollständig eingefangen, sondern sie leckt mehr oder weniger in die Umfangsbereiche mit hohen Grenzfrequenzen; wenn jedoch ein Bereich, der die Leckenergie absorbiert und diese in Wärme umwandelt, extrem nahe an einem Bereich mit einer niedrigen Grenzfrequenz liegt, wird der äquivalente Widerstand für die Vibration groß.

In dieser Hinsicht sind bei einem herkömmlichen Quarz-Oszillator ausreichend dicke Elektroden an der Mitte des Quarzsubstrats angebracht, um die Differenz zwischen den Grenzfrequenzen zu erhöhen, so daß in dem Elektrodenbereich die Vibrationsenergie der Oberschwingung aller Ordnungen eingefangen wird. Dementsprechend tritt als erstes die Vibration mit der Grundfrequenz, bei der der CI-Wert minimal wird, auf. Wie zuvor beschrieben, sind einige Veränderungen an der Oszillationsschaltung erforderlich, wenn der Kristallresonator in einem Oberschwingungsmodus vibrieren soll.

(6) Die in Fig. 1b dargestellte Charakteristik eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus höherer Ordnung ist das Ergebnis theoretischer Analysen bezogen auf ein piezoelektrisches Substrat unendlicher Fläche. Wenn diese Charakteristik im wesentlichen selbst in einem Substrat begrenzter Fläche gewahrt werden kann, leckt die Ener-

Im folgenden wird die Theorie der in den Zeichnungen dargestellten Resonatoren beschrieben.

Vor der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele wird zunächst die Theorie der piezoelektrischen Resonatoren erörtert, um ein besseres Verständnis der Erfindung zu erlangen.

Die Fakten, auf denen die hierin beschriebenen Resonatoren basieren, sind die folgenden.

(1) Die Theorie des Einfangs von Energie, vertreten von Shockley und anderen Wissenschaftlern, ist eine rein elastische Analyse, bei der unter verschiedenen Wellen, eine SH-Welle analysiert wird. Als Vibrationsmedium wird Metall, Quarz-Lithium-Tantalat, Lithium-Neobat oder ein dichtes Material, beispielsweise piezoelektrische Keramik, verwendet. Selbst wenn die Vibrationsenergieausbreitungsrichtung und die Ordnung der Oberschwingung bei allen Vibrationsmodi, einschließlich eines Dickengleitens, einer Dickenverdrehung und einer Dickenlängsschwingung, etc., unterschiedlich ist, ist bekannt, daß diese Theorie auf die qualitative Leistung anwendbar ist.

(2) Nach der Energieabsorptionstheorie von Shockley wird die Vibrationsenergie, wenn ein Bereich mit einer Grenzfrequenz  $f_2$  um einen Bereich mit einer Grenzfrequenz  $f_1$  vorhanden ist, wie in Fig. 1a dargestellt, in einem Bereich (einem Bereich mit  $f_1$ ) mit einer niedrigen Grenzfrequenz eingefangen und das Ausmaß des Einfangs ist in Fig. 1b dargestellt.

In Fig. 1b zeigt die Ordinate die normalisierte Resonanzfrequenz, ausgedrückt durch die Gleichung  $\Psi = (f - f_1)/(f_2 - f_1)$ , und wobei  $\Psi = 1$  bedeutet, daß  $f_1 = f_2$ , wobei kein Einfluß durch einen Bereich mit einer Grenzfrequenz  $f_1$  gegeben ist, wie in Fig. 1a dargestellt. Anders ausgedrückt bedeutet dies das Nichtvorhandensein des Bereichs, so

Fig. 15a und 15b - Kurven zur Darstellung der Ergebnisse von Versuchen, die die Charakteristika der in den Fig. 14a und 14b dargestellten Resonatoren zeigen;

Fig. 16a bis 16d - Schnittdarstellungen unterschiedlicher Resonatorstrukturen;

Fig. 17 - eine Schnittdarstellung des grundsätzlichen Aufbaus des anderen piezoelektrischen Oberschwingungsresonators;

Fig. 18 - eine Draufsicht zur Darstellung des Grundprinzips eines Resonators, bei dem mehrere Oberschwingungen vorhanden sind, deren Vibrationsenergien zu absorbieren sind;

Fig. 19a - eine Draufsicht auf einen weiteren Resonator;

Fig. 19b - eine Schnittdarstellung entlang der Linie A-A in Fig. 19a;

Fig. 20 - eine Draufsicht auf einen weiteren Resonator;

Fig. 21a - eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Oberschwingungsresonators;

Fig. 21b - eine Draufsicht auf das Ausführungsbeispiel von Fig. 21a;

Fig. 22 und 23 - Schnittdarstellungen weiterer Ausführungsbeispiele der Erfindung;

Fig. 24 - eine Kurve zur Darstellung des Verhältnisses zwischen der Resonatorimpedanz und der Charakteristik der Oszillationsschaltung der Oberschwingungsfrequenzen jeweiliger Ordnungen der Resonatoren;

Fig. 3a - eine Schnittdarstellung des grundsätzlichen Aufbaus eines zu Vergleichszwecken dargestellten Resonators;

Fig. 3b - eine Kurve zur Darstellung eines Verfahrens zur Parametereinstellung;

Fig. 3c - eine Kurve zur Darstellung von Vibrationsenergieverteilungen;

Fig. 4a und 4b - eine Schnittdarstellung und eine Kurve zur Darstellung des Ergebnisses eines Versuchs zur Bestimmung der Größe eines Zwischenraums am Vibrationsenergieausbreitungsbereich;

Fig. 5 ist eine Kurve zur Erläuterung des Verhältnisses zwischen der Impedanz und dem negativen Widerstand der Oszillationsschaltung bei jeweiligen Oberschwingungsfrequenzen des Resonators;

Fig. 6a - eine Draufsicht auf einen anderen Resonator;

Fig. 6b - eine Seitenansicht des Resonators von Fig. 6a;

Fig. 6c - 6e - Draufsichten auf Resonatoren mit verschiedenen Formen in Draufsicht;

Fig. 7a bis 7f - verschiedene Formen von Resonatoren im Schnitt;

Fig. 8a - eine Schnittdarstellung des grundsätzlichen Aufbaus eines anderen Oberschwingungsresonators;

Fig. 8b - die Vibrationsenergieverteilung bei verschiedenen Vibrationsmodi, die durch den in Fig. 8a dargestellten Resonator erzeugt werden;

Ein Widerstand mit einem geeigneten Widerstandswert kann an Elektroden angeschlossen werden, die auf beiden Seiten des piezoelektrischen Substrats nahe dessen Außenumfangsrand angebracht sind, um die Ableitung der über die gesamte Fläche des Substrats verbreitete Vibrationsenergie zu erleichtern.

Der erfindungsgemäße Oberschwingungsresonator kann durch Verwendung eines Verbundmaterials auch als Resonator für ein GHz-Band verwendet werden.

Genauer gesagt ist der Oberschwingungsresonator gemäß der vorliegenden Erfindung derart aufgebaut, daß eine Ausnehmung oder Öffnung in einem geeigneten Bereich eines Blocks aus Silizium, Quarz, Glas, Metall, etc. ausgebildet ist, wobei die Ausnehmung oder die Öffnung von einer Dünnschicht mit einer gewünschten Dicke bedeckt ist, die aus dem gleichen Material besteht wie der Block, und ein piezoelektrischer Bereich aus ZnO, etc., der mit geeigneten Elektroden versehen ist, ist auf der Dünnschicht aufgebracht. Der Elektrodenbereich (eigentlich der Kontaktbereich zu dem piezoelektrischen Bereich) dient als Vibrationsenergieeinfangbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_1$ , wobei die Verbindungsstelle zwischen dem Umfang des Elektrodenbereichs und der Ausnehmung oder Öffnung des Blocks als Vibrationsenergieausbreitungsbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_2$  dient, und der Block als Vibrationsenergieabsorptionsbereich mit einer Grenzfrequenz  $f_3$  verwendet wird. Das Verhältnis zwischen den Grenzfrequenzen der verschiedenen Bereiche ist  $f_3 < f_1 < f_2$  und zahlreiche Parameter wie die Elektrodengröße, der Betrag der Anodenrückkopplung sind in geeigneter Weise entsprechend dem Prozentsatz des Einfangens der Vibrationsenergie in dem verwendeten Vibrationsmodus gewählt.

Ferner schafft die Erfindung einen Oberschwingungsresonator, der nicht von der Charakteristik der Oszillationsschaltung abhängt.

Jedoch ist das bloße Einfangen von Oberschwingungsvibrationsenergie von höherer Ordnung als eine gewünschte Ordnung zwischen Erregungselektroden bei der Bildung eines Kristallsubstrats mit einem spezifischen Abmessungsverhältnis, oder das bloße Vorsehen eines punkt- oder strichförmigen Dämpfungsteils am Umfang des Resonatorsubstrats keinesfalls ausreichend bei Vibrationsenergie, deren Oberschwingungsvibrationsordnung geringer ist als die zu verbrauchende gewünschte Größenordnung. Daher weist ein Resonator des genannten Typs den Nachteil auf, daß er keine stabile Oszillation bei der Oberschwingungsvibration einer gewünschten Ordnung liefern kann, so daß keine weiteren Untersuchungen an dieser Art von Resonator angestellt wurden.

Es ist ferner ein Resonator bekannt, der Hochfrequenzvibrationen durch Verwendung des Grundschwingungsmodus eines Dünnsfilms erzeugt. VHF/UHF COMPOSITE RESONATOR ON A SILICON SUBSTRATE von Kitayama et al., Japanese Journal of Applied Physics, Bd. 22 (1983), Supplement 22-3, S. 139-141, beispielsweise, beschreibt ein typisches Beispiel für einen Verbundresonator, der den Grundschwingungsmodus eines piezoelektrischen Dünnsfilms verwendet.

Jedoch verwenden sämtliche herkömmlichen Verbundresonatoren den Grundschwingungsmodus eines piezoelektrischen Dünnsfilms und beabsichtigen nicht die Erzeugung der Oberschwingung desselben.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen piezoelektrischen Resonator für eine Oberschwingungsozillation zu schaffen, wobei eine Vibration eines symmetrischen oder asymmetrischen Modus einer höheren Ordnung verwendet wird, wodurch das Oszillieren einer gewünschten Oberschwingungsfrequenz mit im wesentlichen der selben Form wie bei einem herkömmlichen piezoelektrischen Resonator ermöglicht wird, so daß es nicht erforderlich ist, die Herstellungsschritte wesentlich zu verändern und der Oszillationsschaltung eine LC-Resonanzschaltung beizufügen.

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Resonator und insbesondere einen piezoelektrischen Resonator für Oberschwingungen, der in der Lage ist, mit einer gewünschten Oberschwingungsfrequenz zu oszillieren, ohne eine besondere Oszillationsschaltung zu erfordern.

In jüngerer Zeit ist bei elektrischen Kommunikationsvorrichtungen und verschiedenen elektronischen Vorrichtungen der Bedarf an einem Betrieb mit höheren Frequenzen und an weiterer Miniaturisierung weiter gestiegen. Um diesen Bedarf zu befriedigen, wird in zahlreichen Anwendungsbereichen nunmehr, neben der Verwendung von Oberschwingungsvibrationen herkömmlicher piezoelektrische Resonatoren, wie zum Beispiel Quarz-Resonatoren, ein Oberflächenwellenresonator (SAW) eingesetzt.

Der piezoelektrische Oszillator ist derart ausgebildet, daß ein gewünschtes Ausgangssignal durch eine LC-Resonanzschaltung extrahiert wird, die mit einer gewünschten Oberschwingungsfrequenz schwingt, oder daß eine LC-Resonanzschaltung in einen Teil einer Oszillationsschaltung eingefügt ist, um den negativen Widerstand der Oszillationsschaltung bei einem gewünschten Oberschwingungsfrequenzbereich ausreichend groß zu machen. In jedem Fall ist es jedoch erforderlich, eine Spule zu verwenden, die das Einfügen der Oszillationsschaltung in eine integrierte Schaltung extrem erschwert.

Andererseits wird, bekanntermaßen, die Oszillationsfrequenz eines SAW-Resonators im Prinzip durch das Material, das ein piezoelektrisches Substrat bildet, und durch den Abstand der Elektroden eines Interdigitalwandlers (IDT) bestimmt, die auf der Oberfläche des piezoelektrischen Substrats ausgebildet sind, so daß nicht nur der Resonator selbst, sondern auch die zuvor beschriebenen Schaltungsprobleme umgangen werden können. Jedoch ist diese Art von Resonator dahingehend nachteilig, daß ihre Frequenz-Temperatur-Charakteristik wesentlich schlechter ist als diejenige eines AT-Resonators aus geschnittenem Kristall.